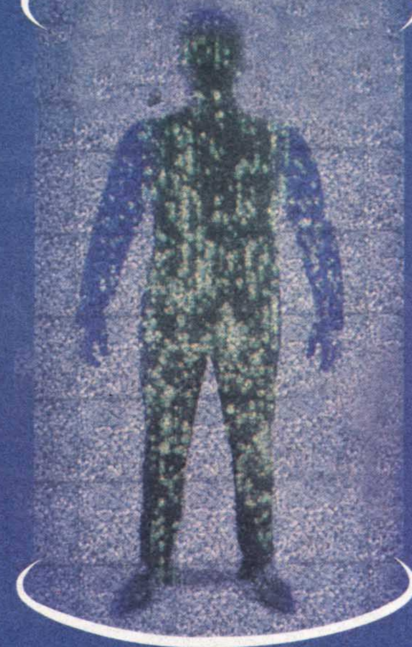
"Restringir nossa atenção aos assuntos terrestres seria limitar o espírito humano."

Da introdução de STEPHEN HAWKING

A FÍSICA DE JORNADA NAS ESTRELAS

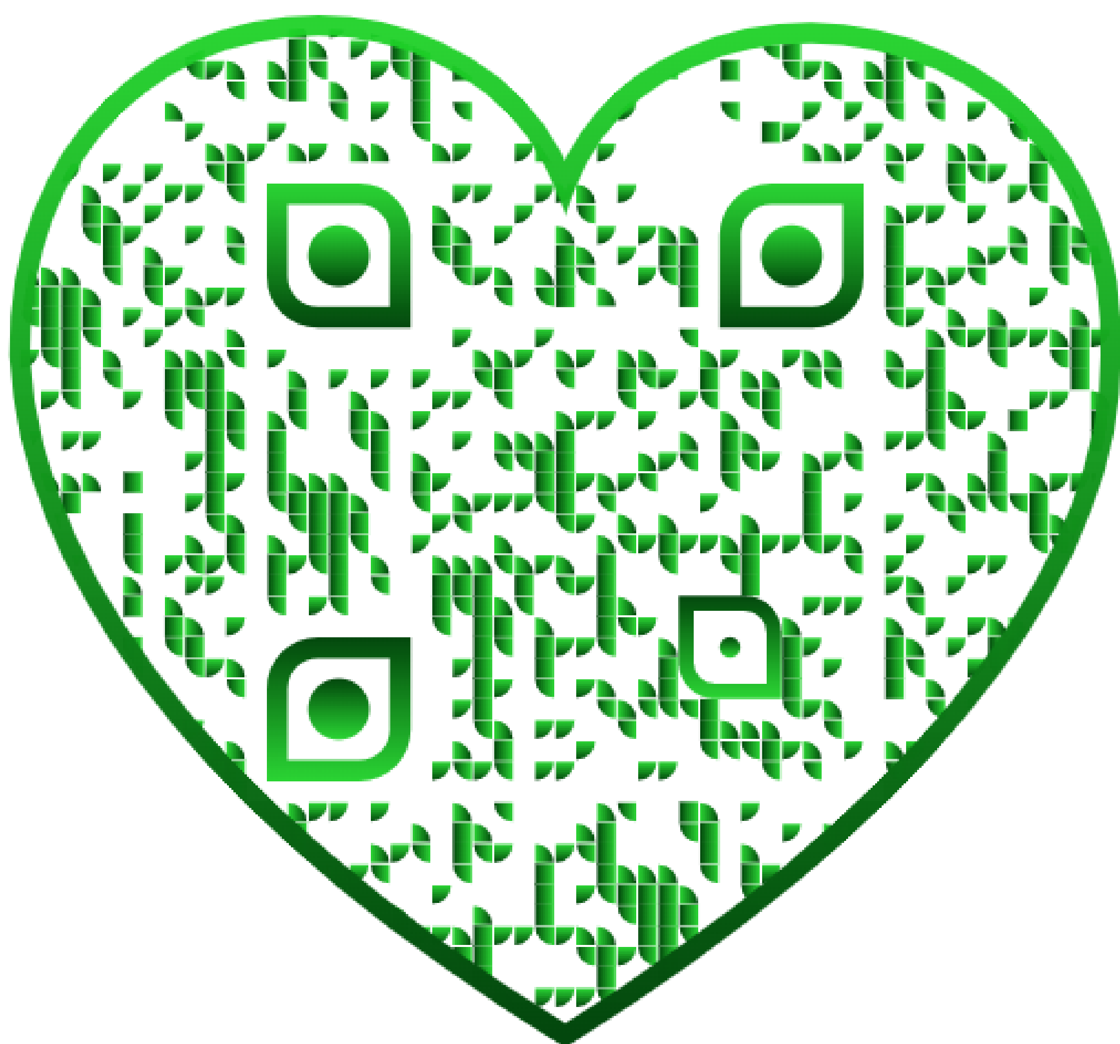
STAR TREK



LAWRENCE M. KRAUSS

MAKRON Books

Harper Business



A Física de Jornada nas Estrelas

STAR TREK

Como o universo de *Jornada nas Estrelas* se encaixa no universo real? Descubra os erros e acertos científicos dos criadores do seriado neste fascinante guia escrito por um renomado físico.

Qualquer um que já se tenha perguntado "Mas isso pode mesmo acontecer?" obterá explicações úteis sobre o universo de *Jornada nas Estrelas.*

- O que acontece quando se é teletransportado?
- O que é dobrado quando se viaja a uma velocidade de dobra?
- Qual a diferença entre holodeck e holograma?
- Qual a diferença entre um Buraco de Minhoca e um Buraco Negro?
- O que é antimatéria e por que a *Enterprise* precisa dela?
- Retornar no tempo é mesmo possível? Poderia matar minha avó antes de ter nascido?

Descubra as respostas para estas e muitas outras fascinantes questões nas explicações de um renomado físico e Trekker dedicado a explorar *A FÍSICA DE JORNADA NAS ESTRELAS.*

"A ficção científica de hoje freqüentemente é o fato científico de amanhã. Seguramente vale a pena investigar os fundamentos da Física sobre os quais Jornada nas Estrelas se apóia. Restringir nossa atenção aos assuntos terrestres seria limitar o espírito humano."

Da introdução de Stephen Hawking

MAKRON *Books* Harper Business

Das abas do livro:

Se você gosta de assistir *Jornada nas Estrelas,* está em boa companhia. Alguns dos mais importantes físicos do mundo, desde Kip Thorne até Steven Weinberg e Sheldon Glashow também gostam, e um passatempo popular nas reuniões e no correio eletrônico de físicos profissionais é a discussão sobre os fundamentos científicos. Agora você pode se divertir também.

Como o universo de *Jornada nas Estrelas* se encaixa no universo real? Descubra os erros e acertos científicos dos criadores do seriado neste fascinante guia escrito por um renomado físico teórico.

Qualquer um que já se tenha perguntado "Mas isso pode mesmo acontecer?" obterá explicações úteis sobre o universo de *Jornada nas Estrelas* (e também sobre o mundo real da Física) através deste interessante e acessível guia. Lawrence M. Krauss audaciosamente vai onde *Jornada nas Estrelas* foi — e até mais além. Ele utiliza o futuro de *Jornada nas Estrelas* como uma plataforma de lançamento para discutir os temas atuais da Física moderna. De Newton a Hawking, de Einstein a Feynman, de Kirk a Picard, Krauss o levará a uma viagem ao mundo da física tal como o conhecemos e tal como ele um dia poderá ser.

Com um prefácio escrito pelo mais famoso Trekker (e único bit-jogador da Nova Geração) Stephen Hawking, e incluindo uma seção sobre os dez maiores erros de *Jornada nas Estrelas* selecionados por ganhadores do Prêmio Nobel de física e outros Trekkers dedicados, este é um volume que acrescenta toda uma nova dimensão a seu prazer de assistir à série e de apreciar o universo em que vivemos.



Lawrence M. Krauss é professor de Física e Astronomia no Ambrose Swasey e chefe do Departamento de Física da Universidade Case Western Reserve. Também é autor de dois outros renomados livros: *Fear of Physics: A Guide for the Perplexed* e *The Fifth Essence: The Search for Dark Matter in the Universe* e de mais de 120 artigos. Já recebeu diversos prêmios internacionais por seu trabalho, incluindo o Prêmio de Pesquisador Presidencial conferido pelo então presidente Reagan, em 1986. Realiza conferências tanto para leigos como para especialistas e freqüentemente aparece no rádio e na TV.

A Física de Jornada nas Estrelas STAR TREK

LAWRENCE M. KRAUSS

Tradução
Eduardo Teixeira Nunes

Revisão Técnica
Sadao Mori
Bacharel em Física — USP
Apresentador e Consultor Técnico do Programa "O Professor" da Rede Cultura de Televisão

Revisão de Ficção Científica
Álvaro Antunes
Mestre em Ciência da Computação (Inteligência Artificial) pela UFRGS Membro do Setor de Ciências da Federação dos Planetas Unidos — Clube de Ficção Científica, Ciência e Tecnologia

MAKRON *Books* do Brasil Editora Ltda.
São Paulo - Rua Tabapuã, 1.348, Itaim-Bibi - CEP 04533-004
(011) 829-8604 e (011) 820-6622

Rio de Janeiro • Ribeirão Preto • Lisboa • Porto • Bogotá • Buenos Aires • Guatemala • Madri • México • Nova Iorque • Panamá • San Juan • Santiago
Auckland • Hamburg • Kuala Lumpur • London • Milan • Montreal • New Delhi • Paris • Singapore • Sydney • Tokyo • Toronto

Do original:
The Physics of Star Trek

Copyright © 1995, by Lawrence M. Krauss.
Publicado pela Basic Books, uma divisão da HarperCollins Publishers, Inc.
Copyright © 1997 Makron *Books* do Brasil Editora Ltda.

Todos os direitos para a língua portuguesa reservados pela MAKRON *Books* do Brasil Editora Ltda.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, guardada pelo sistema "retrieval" ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, seja este eletrônico, mecânico, de fotocópia, de gravação, ou outros, sem prévia autorização, por escrito, das Editoras.

EDITOR: MILTON MIRA DE ASSUMPÇÃO FILHO

Produtora Editorial: Mônica Franco Jacintho
Produtor Gráfico: José Roberto Petroni
Editoração Eletrônica: ERJ Informática Ltda.

Dados de Catalogação na Publicação (CIP) Internacional
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Krauss, Lawrence M.
A física de Jornada nas Estrelas — Star Trek / Lawrence M. Krauss / ; tradução Eduardo Teixeira Nunes ; revisão Técnica Sadao Mori, Álvaro Rodrigues Antunes /. — São Paulo : MAKRON *Books*, 1996.

Título original: The Physics of Star Trek.
ISBN 85-346-0633-1
1. Ciências espaciais 2. Jornada nas Estrelas (Programa de televisão) 3. Vídeo games I. Título.

96-2289 CDD-791.4572

Índices para catálogo sistemático:
1. Star Trek : Programa de televisão 791.4572
2. Jornada nas Estrelas : Programa de televisão 791.4572

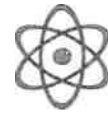
Para minha família

"Mas eu não posso mudar as leis da Física, Capitão!"
(Scotty para Kirk, inúmeras vezes)

Sumário

Agradecimentos 10
PREFÁCIO 13
INTRODUÇÃO 15
Parte 1 - Um Jogo de Pôquer Cósmico 17
1 Newton - Fundamentos 18
2 EINSTEIN RESSURGE 26
3 HAWKING MOSTRA SUA MÃO 42
4 DATA ACABA O JOGO 63
Parte 2 - MATÉRIA. MATÉRIA POR TODA PARTE 71
5 ÁTOMOS OU BITS 72
6 O MÁXIMO PELO SEU DINHEIRO 89
7 HOLODECKS E HOLOGRAMAS 103
Parte - 3 O UNIVERSO INVISÍVEL. OU COISAS QUE NOS CHACOALHAM DURANTE A NOITE 119
8 A PROCURA DE SPOCK 120
9 UM LEQUE DE POSSIBILIDADES 140
10 IMPOSSIBILIDADES: A TERRA DESCONHECIDA 165
EPÍLOGO 177

Agradecimentos



Tenho uma grande dívida para com muitas pessoas que ajudaram a tornar este livro possível. Em primeiro lugar, sou muito agradecido a meus colegas da comunidade da Física, que responderam sem falta aos pedidos de ajuda. Agradeço em particular a Stephen Hawking, por ter prontamente concordado em escrever o prefácio, e a Steven Weinberg, Sheldon Glashow e Kip Thorne, por terem me fornecido suas memórias de Jornada nas Estrelas. John Peoples, diretor do Laboratório Nacional do Acelerador Fermi, colocou à minha disposição membros de sua equipe para colaborar na parte de produção e armazenagem de antimatéria no Fermilab. Agradeço especialmente a Judy Jackson, do escritório de relações públicas do Fermilab, pela assistência e fotos, e a meu colega, da Case Western Reserve University, Cyrus Taylor, que atualmente realiza uma experiência no Fermilab, por ter respondido a diversas questões técnicas. Paul Horowitz, da Universidade de Harvard, respondeu a meu pedido de informações sobre os programas SETI e META liderados por ele, remetendo-me em um dia um tesouro de informações sobre a pesquisa de inteligência extraterrestre e fotos dos projetos. George Smoot forneceu a maravilhosa foto do COBE de nossa galáxia, e Philip Taylor apontou-me a referência sobre as solitons.

Diversos físicos-trekkers espontaneamente ofereceram suas reflexões sobre a Física de Jornada nas Estrelas. Sou particularmente agradecido a Mark Srednicki, Martin White, Chuck Rosenblatt e David Brahm por terem apontado exemplos úteis das séries. Também quero agradecer aos *trekkers* que responderam a meu pedido pelo correio eletrônico, postado em BBSs de Star Trek, sobre seus itens favoritos de Física e erros; agradeço notadamente a Scott Speck, "Westy" da NASA, T. J. Goldstein, Denys Proteau e J. Dilday, tanto

por terem reforçado minha escolha quanto por sugerirem outros exemplos úteis. Também quero agradecer a diversos estudantes da Case Western Reserve por terem apresentado voluntariamente informações, especialmente Ryan Smith.

Outros *trekkers* fizeram contribuições importantes. Quero agradecer a Arma Fortunato, por ler e comentar os primeiros rascunhos do manuscrito e fazer muitas sugestões úteis. Mark Landau, da HarperCollins, também forneceu informações importantes. Jeffrey Robbins, na época editor da Oxford University Press, foi bastante atencioso ao me dar importantes referências sobre o motor de dobra. Meu tio Herb Title, um ávido *trekker*, leu o manuscrito, assim como meu pesquisador associado em Física Peter Kernan. Ambos fizeram comentários muito pertinentes. Também me apoiei em minha mulher, Kate, para obter sugestões em diversas partes do manuscrito.

Tenho uma dívida com Greg Sweeney e Janelle Keberle, por terem me emprestado sua coleção completa de vídeos de Jornada nas Estrelas, que tive à minha disposição durante quatro meses. Ela tornou-se essencial e foi constantemente usada para verificar informações e tramas. Eu agradeço a eles por me confiarem sua coleção.

Quero oferecer meus especiais agradecimentos à minha editora na Basic Books, Susan Rabiner, sem a qual este projeto nunca teria acontecido. Foi ela quem me convenceu a aceitá-lo e se desdobrou de todas as maneiras possíveis para promover o projeto na Basic e HarperCollins. A esse respeito, quero também agradecer a Kermit Hummel, presidente da Basic Books, por seu apoio e entusiasmo. A forma final deste livro também dependeu essencialmente da sabedoria e opiniões de Sara Lippincott, minha editora de linha. As muitas horas que passamos no fax e no telefone estão refletidas, acredito, em um manuscrito substancialmente aperfeiçoado.

Finalmente, quero agradecer ao diretor, funcionários e estudantes do College of Arts and Sciences e do Departamento de Física da Case Western Reserve University, por seu apoio e indulgência enquanto este trabalho estava sendo completado. A instigante atmosfera de camaradagem que eles ajudaram a manter me revigoraram quando mais precisei.

E como sempre, minha família tem apoiado meus esforços sempre que possível. Kate e minha filha, Lilli, até consentiram em assistir a episódios de Jornada nas Estrelas comigo até tarde da noite em diversas ocasiões, quando elas teriam preferido ir dormir.

PREFÁCIO

Por que *A Física de Jornada nas Estrelas?* Afinal, a criação de Gene Roddenberry é ficção científica, não fato científico. Muitas das maravilhas tecnológicas da série, portanto, apóiam-se em noções que podem estar mal definidas ou em contradição com a nossa compreensão atual do universo. E eu não queria escrever um livro que apenas apontasse onde os escritores de Jornada nas Estrelas erraram.

Ainda assim, descobri que não conseguia tirar de minha cabeça a idéia deste livro. Confesso que foi o teletransporte que realmente me seduziu. Refletir sobre os desafios que teriam de ser enfrentados ao conceber essa tecnologia de ficção nos força a pensar sobre temas que vão desde as super-rodovias da informação até a física das partículas, a mecânica quântica, a energia nuclear, a construção de telescópios, a complexidade biológica e mesmo até a possível existência da alma humana! Acrescente a isso as idéias de dobras espaciais e viagens no tempo e a coisa toda se torna irresistível.

Logo me dei conta de que o motivo que tornava tudo isso fascinante é o mesmo que continua atraindo apaixonados por Jornada nas Estrelas até hoje, quase trinta anos depois da primeira série ter sido levada ao ar. Isso é, como o onipotente criador de caso, "Q" afirma: "mapear as possibilidades desconhecidas da existência". E tenho certeza de que Q concordaria: é mesmo uma boa diversão imaginá-las.

Como Stephen Hawking coloca na introdução deste livro, a ficção científica como Jornada nas Estrelas ajuda a ampliar a imaginação humana.

De fato, explorar as infinitas possibilidades que o futuro reserva — incluindo um mundo no qual a humanidade tenha superado suas míopes tensões internacionais e raciais e se aventurado a explorar o universo em paz — é parte da permanente admiração por Jornada nas Estrelas. E como considero isso essencial para a permanente atração pela Física moderna, decidi concentrar-me nessas possibilidades neste livro.

Com base em pesquisas informais feitas outro dia, enquanto caminhava pelo campus da universidade, o número de pessoas que nos

Estados Unidos não reconhece a frase "Leve-me para cima, Scott" pode ser comparado ao número de pessoas que nunca ouviram falar em ketchup. Quando consideramos que a mostra do Instituto Smithsoniano (Smithsonian Institute) sobre a espaçonave *Enterprise* foi a exposição mais popular do seu Museu de Aeronáutica e Espaço — mais popular do que as espaçonaves de verdade que estão lá — acredito que fique bastante claro que Jornada nas Estrelas é um veículo natural para a curiosidade de muitas pessoas sobre o universo. Que contexto melhor introduziria algumas das mais notáveis idéias de ponta da Física atual e que estão no limiar da Física de amanhã? Espero que você aprecie a viagem tanto quanto eu.

Vida longa e próspera.

INTRODUÇÃO
Stephen Hawking

Fiquei muito lisonjeado por Data ter convidado Newton, Einstein e a mim para um jogo de pôquer a bordo da *Enterprise*. Essa era a minha chance de dar a volta por cima nos dois grandes homens da gravidade, especialmente Einstein, que não acreditava na sorte ou em Deus, jogando dados. Infelizmente, nunca recebi o que ganhei, porque o jogo teve de ser interrompido devido a um alerta vermelho. Cheguei a contatar os estúdios da Paramount depois, para trocar minhas fichas, mas eles não sabiam qual era a taxa de câmbio.

Ficção científica como Jornada nas Estrelas não apenas é uma boa diversão, mas também serve a um propósito sério: expandir a imaginação humana. Ainda não conseguimos audaciosamente chegar aonde nenhum homem (ou mulher) jamais esteve, mas pelo menos podemos fazê-lo em nossas mentes. É possível investigar como o espírito humano responderia a desenvolvimentos futuros da ciência e pode-se especular quais serão eles. Há uma via de mão dupla entre a ficção científica e a ciência. A ficção científica sugere idéias que os cientistas incorporam às suas teorias, mas às vezes a ciência oferece noções mais estranhas do que qualquer ficção científica. Os buracos negros são um exemplo, bastante auxiliado pelo inspirado nome que o físico John Archibald Wheeler lhes deu. Se tivessem mantido seu nome original, "estrela congelada" ou "objetos em completo colapso gravitacional", a metade do que foi escrito a respeito deles não existiria.

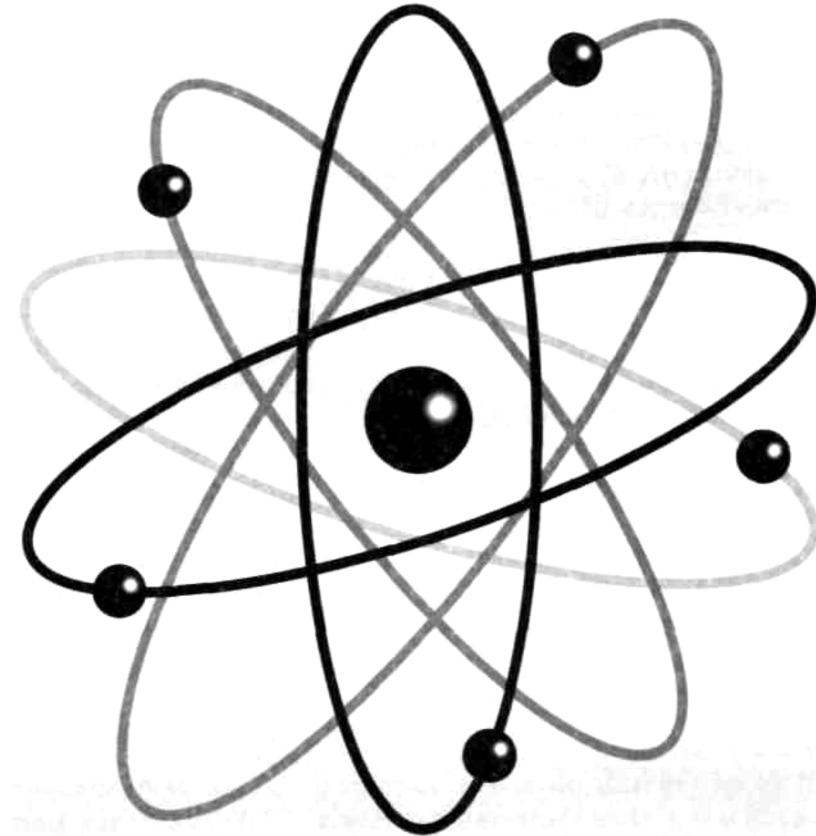
Uma outra coisa para a qual Jornada nas Estrelas e a ficção científica em geral chamaram a atenção é a viagem a velocidades maiores do que a da luz. De fato, isso é absolutamente essencial para o enredo de Jornada nas Estrelas. Se a *Enterprise* ficasse restrita a viagens abaixo da velocidade da luz, sua tripulação acreditaria que a viagem de ida e volta ao centro da galáxia levar apenas alguns anos, mas, na Terra, 80 mil anos teriam transcorrido até o retorno da nave. Tempo demais para reencontrar a família ao voltar!

Felizmente, a teoria geral da relatividade de Einstein dá um

jeitinho para resolver esse problema: pode-se dobrar *(warp)* o espaço-tempo e criar um atalho entre os lugares que se deseja visitar. Apesar de haver problemas de energia negativa, parece que essas dobras poderão ser possíveis no futuro. Não tem havido muita pesquisa científica séria sobre o assunto, em parte porque, penso eu, isso ainda soa muito como ficção científica. Uma das conseqüências das viagens interestelares rápidas seria a de ser possível voltar no tempo. Imaginem a gritaria sobre desperdício de dinheiro do contribuinte se descobrissem que a National Science Foundation (Fundação Nacional de Ciência) estava realizando pesquisas sobre viagens no tempo! Por esse motivo, os cientistas que trabalham nessa área têm de disfarçar seu interesse real, usando termos técnicos como "curvas temporais fechadas", que são um código para viagens no tempo. Apesar disso, a ficção científica de hoje freqüentemente é o fato científico de amanhã. Seguramente, vale a pena investigar a Física sobre a qual Jornada nas Estrelas se apóia. Restringir nossa atenção aos assuntos terrestres seria limitar o espírito humano.

Parte 1 - Um Jogo de Pôquer Cósmico

No qual os fundamentos da Física sobre os
neutralizadores de inércia e dos raios tratores
abre caminho para viagens no tempo, velocidades de
dobra *(warp)*, escudos defletores, buracos de minhoca
e outras anomalias espaciais.



1 Newton - Fundamentos

"Não importa aonde vá, lá você está."

Extraído de uma placa da espaçonave Excelsior, *em* Star Trek VI: The Undiscovered Country (Jornada nas Estrelas VI: A Terra Desconhecida), *presumidamente emprestada de* As Aventuras de Buckaroo Banzai

Você está na ponte de comando da espaçonave *Defiant (NCC-1764),* atualmente em órbita ao redor do planeta Iconia, perto da Zona Neutra. Sua missão: encontrar-se com uma nave de suprimentos no outro lado deste sistema solar e carregar componentes para reparar bobinas de energização primária de teletransporte. Não há necessidade de atingir velocidade de dobra; basta ajustar os motores de impulso para uma confortável viagem à metade da velocidade da luz, o que deverá levá-lo ao destino em algumas horas e permitirá atualizar o diário de bordo do capitão enquanto isso. Mas, ao sair de órbita, você sente uma forte pressão sobre o peito. Suas mãos ficam pesadas como chumbo e parece que você está colado em seu assento. Sua boca se transfigura num esgar maligno, seus olhos parecem saltar e o sangue que flui em seu corpo se recusa a subir até sua cabeça. Lentamente você perde a consciência... e em poucos minutos está morto.

O que aconteceu? Não são os primeiros sinais do desvio espacial "interfásico" que mais tarde atingirá a nave, ou um ataque de uma nave romulana camuflada. O fato é que você foi apanhado por algo muito mais poderoso. Os engenhosos escritores de Jornada nas Estrelas, dos quais você depende, ainda não inventaram os neutralizadores de inércia, que serão introduzidos no seriado um pouco mais tarde. Você foi derrotado por nada mais exótico do que as leis do movimento de Newton — a primeira coisa que esquecemos da Física ensinada no colegial.

Ok, sei que alguns *trekkers* estão pensando "Que chateação! Não me venha falar de Newton. Fale-me sobre as coisas que realmente quero saber, por exemplo: 'Como a velocidade de dobra (warp drive)

funciona?' ou 'O que acontece antes de entrar-se em velocidade de dobra — é como quebrar a barreira do som?' ou 'O que é um cristal de dilítio?'" Tudo o que posso dizer é que a seu tempo chegaremos lá. Viajar no universo de Jornada nas Estrelas envolve alguns dos mais exóticos conceitos da Física, mas é preciso reunir muitos aspectos diferentes antes de ser possível responder à questão fundamental que todos fazem sobre Jornada nas Estrelas: "Será que isto é *mesmo* possível? E se for, *como?"*.

Para ir aonde nenhum homem jamais esteve — de fato, antes mesmo de deixar o Comando da Frota Estelar — teremos primeiro de enfrentar as mesmas peculiaridades com as quais Galileu e Newton se defrontaram há mais de 300 anos. A maior motivação é a pergunta verdadeiramente cósmica que está no cerne da visão de Gene Roddenberry sobre Jornada nas Estrelas, e que, para mim, faz com que valha a pena refletir sobre este assunto: *"O que a ciência moderna nos permite imaginar sobre nosso possível futuro como civilização?"*.

Qualquer um que já tenha estado em um avião ou em um automóvel veloz conhece a sensação de ser empurrado contra o assento quando o veículo acelera após estar imóvel. Esse fenômeno ocorre como uma vingança a bordo de uma espaçonave. A reação de fusão nos motores de impulso produz altas pressões, que empurram gases e radiação para trás da espaçonave a alta velocidade. É a força de reação exercida sobre os motores pelo escape dos gases e da radiação que "empurra" os motores para a frente. A nave, presa aos motores, também se move para diante. Na direção, você também é empurrado para frente pela força que o seu assento exerce sobre seu corpo. Seu corpo, por sua vez, é pressionado contra o assento.

Esse é o X da questão: assim como um martelo movendo-se em alta velocidade contra sua cabeça produzirá uma força sobre seu crânio que facilmente pode ser letal, o assento do capitão irá matá-lo se a força que aplicar sobre você for muito grande. Os pilotos de jato e a NASA chamam essa força exercida sobre seu corpo ao experimentar altas acelerações (em um avião ou em um lançamento espacial) de força G. Posso descrevê-la recorrendo às minhas dores nas costas. Enquanto estou sentado em frente ao meu computador, sinto a sempre presente pressão de minha cadeira sobre meu traseiro — uma pressão

com a qual aprendi a conviver (ainda que, devo acrescentar, meu traseiro esteja lentamente reagindo a ela de uma forma pouco estética). A força sobre meu traseiro resulta da atração gravitacional que, se não houvesse obstáculos, iria acelerar-me até o centro da Terra. O que me impede de acelerar — e de fato me mover além de meu assento — é a força para cima que o chão exerce sobre a estrutura de concreto e aço de minha casa, que por sua vez exerce uma força sobre o assoalho de madeira em meu estúdio no segundo andar, que exerce uma força sobre minha cadeira, que por sua vez exerce uma força sobre as partes de meu corpo em contato com ela. Se a massa da Terra fosse duas vezes maior, mas o seu diâmetro permanecesse o mesmo, a pressão sobre meu traseiro seria duas vezes maior. As forças que agem para cima teriam de compensar a força da gravidade, sendo portanto duas vezes mais intensas.

Os mesmos fatores precisam ser levados em consideração nas viagens espaciais. Se você está na poltrona do capitão e dá a ordem para alcançar a nave, precisa considerar a força com a qual seu assento irá empurrá-lo para a frente. Se ordenar uma aceleração duas vezes maior, a força que o assento exercerá sobre seu corpo será duas vezes maior. Quanto maior a aceleração, maior a força. O único problema é que nada resiste ao tipo de força necessária para alcançar rapidamente a velocidade de impulso — e isso certamente inclui o seu corpo.

Aliás, esse mesmo problema aparece em diferentes contextos em Jornada nas Estrelas, até mesmo na Terra. No começo de *Star Trek V: The Final Frontier (Jornada nas Estrelas V: A Última Fronteira)**, James Kirk, durante suas férias, está escalando, sem corda de segurança, no Parque Yosemite quando escorrega e cai. Spock, com suas botas-foguete, acelera para salvá-lo e interrompe a queda do capitão a poucos centímetros do solo. Infelizmente, nesse caso, a solução pode ser tão ruim quanto o problema. É o processo de parada brusca que pode matá-lo, seja o chão que interrompa a queda, ou as mãos de Spock com seu "aperto" vulcano.

* N. R. F.C.: Segundo a comunidade *trekker*, a tradução mais apropriada seria *Jornada nas Estrelas V: A Fronteira Final*.

Muito antes das forças de reação, que quebram ou despedaçam seu corpo, entrarem em ação, surgem outros problemas fisiológicos

graves. Em primeiro lugar, e mais importante, é impossível para seu coração bombear o sangue para sua cabeça com força suficiente. Por esse motivo, pilotos de caça às vezes desmaiam ao realizar manobras em grande aceleração. Roupas especiais foram desenvolvidas para forçar o sangue a ir para cima a partir das pernas, mantendo assim a consciência durante a aceleração. Essa reação fisiológica continua a ser um dos fatores-limite ao se determinar quão intensa pode ser a aceleração das espaçonaves atuais, e é por isso que a NASA, ao contrário de Júlio Verne em seu clássico *Viagem ao Redor da Lua*, nunca lançou três homens em órbita com um canhão gigante.

Se quisermos acelerar da imobilidade até, digamos, 150 mil km/s, ou cerca de metade da velocidade da luz, teremos de fazê-lo gradualmente, para que nosso corpo não seja despedaçado no processo. Para não ser empurrado contra o assento com uma força maior do que 3 G, minha aceleração não pode ser maior do que três vezes a aceleração de um objeto que cai na Terra. Nessa aceleração, levaria cerca de 5 milhões de segundos, ou dois meses e meio, para atingirmos metade da velocidade da luz! Assim seria difícil assistir a um episódio que fosse emocionante!

Para resolver esse dilema, algum tempo depois da produção das naves estelares da classe Constitution — mais especialmente a *Enterprise (NCC-1701)* —, os roteiristas de Jornada nas Estrelas tiveram de desenvolver uma resposta às críticas segundo as quais a aceleração a bordo da espaçonave imediatamente transformaria a tripulação em "salsa picadinha"*. Então, eles criaram os neutralizadores de inércia *(inertial dampers),* um engenhoso dispositivo no roteiro da série para contornar esse pequeno, mas incômodo, problema.

* OKUDA, Michael, OKUDA, Denise, MIRAR, Debbie. *The Star Trek Encyclopedia.* New York: Pocket Books, 1994.

Os neutralizadores de inércia, são mais notados em sua ausência. Por exemplo, a *Enterprise* quase foi destruída depois de perder o controle dos neutralizadores de inércia, quando as formas de vida microscópicas conhecidas como Nanitas, em meio a seu processo evolutivo, começaram a devorar a memória do computador central da nave. De fato, quase todas as vezes em que a *Enterprise* foi destruída

(em geral, em alguma linha de tempo alternativa), a destruição era precedida pela perda dos neutralizadores de inércia. Os resultados de uma perda similar em uma nave de guerra romulana nos forneceram uma prova explícita de que os romulanos têm sangue verde.

Aliás, assim como a maioria das tecnologias do universo de Jornada nas Estrelas, é muito mais fácil descrever o problema resolvido pelos neutralizadores de inércia do que explicar exatamente como eles funcionam. A Primeira Lei da Física em Jornada nas Estrelas, afirma que quanto mais básico for o problema a ser contornado, mais desafiadora precisa ser a solução. A razão pela qual pudemos atingir este ponto, e a razão pela qual podemos postular um futuro para Jornada nas Estrelas, é que a Física é um campo construído sobre si mesmo. Uma solução para Jornada nas Estrelas precisa resolver não um mero problema de Física, mas cada parcela de conhecimento da Física que foi construída com base para a solução desse problema. A Física não progride por meio de revoluções que destroem tudo o que existia antes, mas sobretudo por evoluções que exploram o melhor daquilo que já foi compreendido. Daqui a um milhão de anos, as leis de Newton continuarão a ser tão válidas quanto hoje, independentemente do que possa ser descoberto nas fronteiras da ciência. Se soltarmos uma bola na Terra, ela sempre cairá. Se eu permanecer sentado em minha cadeira, escrevendo pela eternidade afora, meu traseiro sofrerá as mesmas conseqüências.

Seja como for, seria injusto simplesmente deixar passar os neutralizadores de inércia sem pelo menos uma descrição concreta de como eles teriam de operar. A partir de nossos argumentos, eles teriam de criar um mundo artificial dentro da espaçonave no qual a força de reação que responde à aceleração fosse cancelada. Os objetos dentro da nave são "enganados" para se comportarem como se não estivessem acelerando. Eu descrevi como a aceleração provoca em você a mesma sensação de estar sendo puxado pela gravidade. Essa relação, que é a base da teoria geral da relatividade de Einstein, é muito mais íntima do que pode parecer à primeira vista. Portanto, só há uma opção para o *modus operandi* desses dispositivos: eles precisam acionar um campo gravitacional artificial dentro da nave que "puxe" na direção oposta à da força de reação, cancelando-a.

Mesmo que você aceite essa possibilidade, outras questões práticas precisam ser resolvidas. Por exemplo, leva algum tempo para os neutraliza-dores de inércia entrarem em ação quando surge um impulso inesperado. Quando a *Enterprise* foi empurrada para um ciclo de causalidade pela *Bozeman*, quando esta emergiu de uma distorção temporal, a tripulação foi atirada para fora de seus lugares na ponte (antes mesmo do defeito no núcleo de dobra e da falha nos neutralizadores de inércia.) Eu li nas especificações técnicas da *Enterprise* que o tempo para os neutralizadores de inércia entrarem em ação é de 60 milissegundos*. Pode parecer pouco, mas é o suficiente para matá-lo se a mesma demora ocorrer durante períodos programados de aceleração. Para que você se convença disso, pense em quanto demoraria para um martelo abrir sua cabeça ou em quanto tempo o chão iria matá-lo, se você o atingisse ao final de uma queda de um rochedo em Yosemite. Lembre-se de que uma colisão a 16 km/h equivale a correr a toda velocidade de encontro a uma parede de tijolos! Os neutralizadores de inércia precisam ser muito rápidos em sua resposta. Mais de um *trekker* que conheço já notou que, sempre que a nave *é* atingida, ninguém é lançado a mais do que alguns metros.

* STERNBACH, Reck, OKUDA, Michael. *Star Trek: The Next Generation — Technical Manual.* New York: Pocket Books, 1991.

Antes de abandonarmos o mundo familiar da Física clássica, não podemos deixar de mencionar uma outra maravilha tecnológica que precisa confrontar as leis de Newton para funcionar: o raio trator da *Enterprise* — destacado no salvamento da colônia Genome em Moab IV, quando desviou um fragmento de estrela que se aproximava, e também em uma tentativa similar (mas malsucedida) de salvar Bre'el IV, empurrando uma pequena lua de volta à sua órbita. Aparentemente, o raio trator é bastante simples, mais ou menos como uma corda ou eixo invisível, mesmo que a força exercida seja um tanto estranha. De fato, assim como uma corda forte, o raio trator geralmente funciona bem puxando uma pequena nave de transporte, rebocando outra nave ou impedindo a fuga de uma nave inimiga. O único problema é que, quando puxamos algo com uma corda, precisamos estar ancorados ao chão ou a algo pesado. Qualquer um

que já tenha patinado sabe o que ocorre quando se está no gelo e se tenta empurrar alguém. A separação acontece, mas às custas de quem empurrou. Sem nenhuma amarração firme ao solo, você será vítima indefesa de sua própria ação.

Foi esse mesmo princípio que levou o capitão Jean-Luc Picard a ordenar ao tenente Riker que desligasse o raio trator no episódio "The Battle" ("A Batalha"); Picard afirmou que a nave rebocada seria impulsionada para a frente pelo seu próprio momento — sua inércia. Da mesma forma, se a *Enterprise* tentasse usar o raio trator para desviar a *Stargazer*, a força resultante empurraria a *Enterprise* para trás, assim como a *Stargazer* para a frente.

Esse fenômeno afeta dramaticamente a forma pela qual se trabalha no espaço hoje em dia. Digamos, por exemplo, que você seja um astronauta designado a soltar uma porca no Telescópio Espacial Hubble. Se levar uma chave elétrica para fazer o serviço, é possível que seja surpreendido ao lidar com a porca. Ao ligar a máquina ajustada à porca, é mais provável que você saia girando em vez da porca. Isso porque o Telescópio Hubble é muito mais pesado do que você. Quando a máquina aplica uma força à porca, a força de reação que você sente irá girá-lo com mais facilidade do que a porca, especialmente se esta ainda estiver presa com alguma firmeza à estrutura. Claro, se você tiver a sorte de, como os assassinos do Chanceler Gorkon, usar botas magnéticas que o prendem firmemente a seu ponto de apoio, então poderá trabalhar com tanta eficiência quanto na Terra.

Da mesma maneira, podemos ver o que acontece se a *Enterprise* tentar puxar outra espaçonave para si. A menos que a *Enterprise* tenha uma massa muito maior, provavelmente ela irá mover-se em direção ao outro objeto, quando o raio trator for ligado, do que este para ela. Nas profundezas do espaço, essa distinção é meramente semântica. Sem referencial algum por perto, como saber quem puxa quem? Entretanto, se você estiver num desafortunado planeta como Moab IV, na trajetória de uma estrela descontrolada, fará muita diferença se é a *Enterprise* quem empurra a estrela ou se a estrela é que empurra a *Enterprise!*

Um *trekker* que conheço afirma que a solução para esse problema

já foi indiretamente fornecida em pelo menos um episódio: se a *Enterprise* usasse seus motores de impulso junto com o raio trator, ela poderia, aplicando uma força oposta com seus próprios motores, compensar qualquer deslocamento ao puxar ou empurrar algo. Esse *trekker* afirma que em algum lugar foi dito que o raio trator, para ser operacional, precisa funcionar juntamente com a força de impulso. Entretanto, nunca notei nenhuma instrução de Kirk ou Picard para ligar os motores junto com o raio trator. E de fato, para uma sociedade capaz de projetar e construir neutralizadores de inércia, uma solução de força bruta como essa não seria necessária. Lembrando-me da necessidade que Geordi LaForge tinha de um campo de dobra para tentar empurrar a lua em Bre'el IV, acredito que uma cuidadosa, ainda que atualmente impossível, manipulação do espaço-tempo também resolveria o problema. Para compreender por que, é preciso acionar os neutralizadores de inércia e acelerar para o mundo moderno do espaço e do tempo curvos.

2 EINSTEIN RESSURGE

There once was a lady named Bright,
Who traveled much faster than light.
She departed one day, in a relative way,
And returned on the previous night.

Anônimo

"O tempo, a fronteira final" — talvez fosse assim que cada episódio de Jornada nas Estrelas devesse começar. Há trinta anos, no clássico episódio "Tomorrow Is Yesterday" ("Amanhã é Ontem"), começava a viagem de ida e volta no tempo da Enterprise. (Na realidade, no final de um episódio anterior, "The Naked Time" ("A Hora Nua"), a Enterprise retorna três dias no tempo, mas essa viagem foi só de ida.) A nave volta à Terra do século XX como resultado de sua aproximação de uma "estrela negra" (o termo "buraco negro" ainda não era usual naquela época.) Hoje em dia, termos exóticos como buracos de minhoca e "singularidades quânticas" aparecem regularmente temperando os episódios de *fornada nas Estrelas: Voyager,* a série mais recente. Graças a Albert Einstein e àqueles que o seguiram, o próprio tecido do espaço-tempo está repleto de drama.

Se cada um de nós é um viajante no tempo, o *pathos* cósmico que eleva a história da humanidade ao nível da tragédia surge precisamente porque parecemos fadados a viajar em uma única direção: para o futuro. O que não daríamos para viajar ao passado, reviver glórias, corrigir erros, encontrar nossos heróis, talvez mesmo evitar desastres ou simplesmente revisitar a juventude com a sabedoria da idade? As possibilidades da viagem temporal nos atraem cada vez que olhamos para as estrelas, apesar de parecermos estar permanentemente presos ao presente. A questão que motiva não apenas a licença poética, mas uma quantidade surpreendente de pesquisas em Física teórica moderna, pode ser colocada de forma simples: somos ou não somos prisioneiros de um trem cósmico temporal que não pode sair dos trilhos?

As origens deste gênero moderno que chamamos de ficção

científica estão intimamente ligadas à questão da viagem no tempo. O clássico de Mark Twain *Um Ianque de Connecticut na Corte do Rei Arthur* é mais uma obra de ficção do que de ficção científica, apesar de a história inteira girar em torno das aventuras de uma viagem temporal de um desafortunado americano até a Inglaterra medieval. (Talvez Twain não se tenha demorado nos aspectos científicos da viagem no tempo devido à promessa feita a Picard, a bordo da *Enterprise*, de não revelar sua olhadela no futuro uma vez de volta ao século XIX, ao atravessar uma falha temporal em Devidia II, no episódio "Time's Arrow" ("A Seta do Tempo").) Mas o notável trabalho de H. G. Wells, *A Máquina do Tempo*, completou a transição para o paradigma seguido por Jornada nas Estrelas. Wells graduou-se no Imperial College of Science and Technology, em Londres, e a linguagem científica permeia suas discussões, assim como está presente nas discussões da tripulação da *Enterprise.*

Entre os mais criativos e atraentes episódios da série Jornada nas Estrelas, seguramente estão aqueles envolvendo viagens temporais. Contei nada menos de 22 episódios nas duas primeiras séries que lidam com esse tema, assim como três nos filmes feitos para o cinema e diversos episódios da *Voyager* e da *Deep Space Nine** que surgiram desde que escrevo. Talvez o aspecto mais fascinante das viagens no tempo, no que tange a Jornada nas Estrelas, é o fato de não haver um potencial forte de violação da Diretriz Primeira. As tripulações da Frota Estelar são advertidas para não interferir no curso normal do desenvolvimento histórico atual de qualquer sociedade alienígena que possam vir a visitar. Mas viajar de volta no tempo possibilita a eliminação do presente, e de fato da própria história!

Um paradoxo famoso pode ser encontrado tanto na ficção científica quanto na Física: o que acontece se você voltar no tempo e matar sua mãe antes de ter nascido? Você então deixaria de existir. Mas se você deixou de existir, então não poderia ter voltado e matado sua mãe. Mas se você não matou sua mãe, então não deixou de existir. Colocando de outra forma: se você existe, então não pode existir, ao passo que, se você não existe, então precisa existir.

* N.R.T.: No Brasil, chamada *Jornada nas Estrelas - A Nova Missão.*

Existem outras questões, menos óbvias, mas igualmente

dramáticas, que surgem no momento em que se pensa em viajar no tempo. Como, por exemplo, na resolução de "Time's Arrow" ("A Seta do Tempo") em que Picard engenhosamente envia uma mensagem do século XIX para o século XXIV digitando códigos binários na cabeça decepada de Data, que ele sabe que será descoberta quase quinhentos anos depois e religada a seu corpo. Quando assistimos ao episódio, vemos Picard digitando a mensagem e depois o corte para LaForge no século XXIV, no momento em que ele consegue reimplantar a cabeça de Data. Para o espectador, esses fatos parecem contemporâneos, mas não são: desde que Picard colocou a mensagem na cabeça de Data, ela ficou lá por meio milênio. Mas se fosse eu a examinar cuidadosamente a cabeça de Data no século XXIV e Picard ainda não tivesse voltado no tempo para mudar o futuro, eu conseguiria ver essa mensagem? Pode-se argumentar que, se Picard ainda não viajou no tempo, não pode haver efeito sobre a cabeça de Data. Ainda assim, as ações que mudaram a programação de Data aconteceram no século XIX, independentemente de quando Picard retornou no tempo para realizá-las. Portanto, elas já aconteceram, mesmo se Picard ainda não tiver partido! Dessa maneira, uma causa no século XIX (Picard digitando) pode produzir um efeito no século XXIV (a mudança nos circuitos de Data) antes da causa no século XXIV (Picard deixando a nave) produzir seu efeito no século XIX (a chegada de Picard na caverna em que está a cabeça de Data), o que permitiu que a causa original (Picard digitando) tivesse acontecido.

A verdade é que se a trama acima é confusa, ela é nada se comparada à Mãe de todos os paradoxos, que surge no episódio final de *Star Trek: The Next Generation (Jornada nas Estrelas: A Nova Geração)*, quando Picard desencadeia uma seqüência de acontecimentos que retroagirão no tempo e destruirão não apenas seus próprios ancestrais, mas toda a vida na Terra. Especificamente, uma "distorção temporal subespacial" envolvendo o "anti-tempo" ameaça crescer retroativamente no tempo até engolfar os aminoácidos do protoplasma existente nos primórdios da Terra, antes que as primeiras proteínas, que seriam a base de toda a vida no planeta, pudessem se formar. Esse é o exemplo, por excelência, de um efeito produzindo uma causa. Aparentemente, a distorção temporal é criada no futuro. Se

no passado distante a distorção temporal subespacial conseguisse destruir a primeira forma de vida terrena, então a vida no planeta nunca teria podido evoluir até uma civilização capaz de criar distorções no futuro!

A resolução padrão desses paradoxos, pelo menos entre muitos físicos, é o argumento de que, a priori, tais possibilidades nunca ocorreriam em um universo sensato, tal como é este no qual presumidamente vivemos.

Entretanto, o problema é que as equações da teoria geral da relatividade de Einstein não apenas não proíbem diretamente tais possibilidades, mas também as encorajam.

Trinta anos depois do desenvolvimento das equações da relatividade geral, uma solução explícita, segundo a qual a viagem no tempo poderia ocorrer, foi desenvolvida pelo famoso matemático Kurt Gödel, que trabalhou no Instituto de Estudos Avançados de Princeton junto com Einstein. Na linguagem de Jornada nas Estrelas, essa solução permitiu a criação de um "ciclo de causalidade temporal", tal como aquele que capturou a *Enterprise* depois de ter sido atingida pela *Bozeman*. A terminologia mais seca da Física moderna chama isso de "curva temporal fechada". Em ambos os casos, isso significa que é possível ir e voltar a seu ponto de partida tanto no tempo quanto no espaço! A solução de Gödel envolve um universo que, ao contrário daquele no qual vivemos, não está em expansão, mas sim girando uniformemente. Em um universo assim, ocorre que, em princípio, seria possível retornar no tempo meramente se deslocando num enorme círculo pelo espaço. Se esse universo hipotético é dramaticamente diferente daquele no qual vivemos, o mero fato de que essa solução possa existir indica claramente que é possível viajar no tempo dentro do contexto da relatividade geral.

Há uma máxima sobre o universo que sempre conto a meus alunos: Aquilo que não é explicitamente proibido certamente ocorrerá. Ou, como Data afirmou no episódio "Parallels" ("Paralelos") referindo-se às leis da mecânica quântica: "Todas as coisas que podem ocorrer, ocorrerão". Esse é o espírito com o qual, acredito eu, deveríamos abordar a Física em Jornada nas Estrelas. Precisamos considerar a distinção não entre o que é prático e o que não é, mas sim

entre o que é possível e o que não é.

Obviamente, esse fato não passou despercebido pelo próprio Einstein, que escreveu: "A solução da máquina do tempo de Kurt Gödel levanta o problema que já me incomodava na época da construção da teoria geral da relatividade, sem que eu tenha conseguido esclarecê-lo.... Será interessante avaliar se essas soluções não serão excluídas pela Física"*.

* Citado em SCHILPP, Paul, ed., *Albert Einstein: Philosopher-Scientist.* New York: Tudor 1957

O desafio aos físicos tem sido desde então o de determinar se existem "bases físicas" que excluiriam a possibilidade das viagens no tempo, que a forma das equações da relatividade geral parece prever. Para discutir tais assuntos será preciso viajar para além do mundo da relatividade geral clássica, até o obscuro domínio no qual a mecânica quântica deve afetar até mesmo a natureza do espaço e do tempo. No caminho, assim como a *Enterprise*, encontraremos buracos negros e buracos de minhoca. Mas, antes, precisamos retornar até a segunda metade do século XIX.

O casamento de tempo e espaço que anunciou a era moderna começou com a união, em 1864, da eletricidade com o magnetismo. Esse notável feito intelectual, baseado nos esforços cumulativos de grandes físicos como André-Marie Ampère, Charles-Augustin de Coulomb e Michael Faraday, foi coroado pelo brilhante físico inglês James Clerk Maxwell. Ele descobriu que as leis da eletricidade e do magnetismo não apenas apresentavam uma relação íntima entre si, mas juntas implicavam a existência das "ondas eletromagnéticas" que viajariam pelo espaço com uma velocidade que poderia ser calculada com base nas propriedades conhecidas da eletricidade e do magnetismo. Essa velocidade, verificou-se, era idêntica à da luz, que já havia sido medida.

Ora, desde a época de Newton havia um debate sobre se a luz era uma onda — isto é, uma perturbação viajando em um meio que a suportaria — ou uma partícula, que viajaria independentemente do suporte de qualquer meio. A observação de Maxwell, segundo a qual as ondas eletromagnéticas devem existir e sua velocidade deve ser idêntica à da luz, pôs fim ao debate: a luz era uma onda

eletromagnética.

Uma onda é apenas uma perturbação em movimento. Se a luz é uma perturbação eletromagnética, então qual é o meio que a suporta conforme as ondas se movimentam? Esse tornou-se o ponto central das investigações no final do século XIX. O meio proposto tinha um nome desde Aristóteles. Era chamado de éter, e até então havia escapado de todas as tentativas de definição. Entretanto, em 1887, Albert A. Michelson e Edward Morley, trabalhando nas instituições que em 1967 se fundiriam para formar meu lar atual, a Case Western Reserve University, realizaram a experiência que seguramente detectaria não o éter mas seus efeitos: uma vez que se presumia que o éter preenchia todos os espaços, logo a Terra se movia através dele. A luz viajando em diferentes direções com relação ao movimento da Terra, pelo éter, deveria portanto demonstrar variações de velocidade. Desde então, essa experiência foi reconhecida como a mais significativa experiência do século passado, apesar de Michelson e Morley nunca terem observado o efeito que procuravam. De fato, é justamente porque eles não puderam observar o efeito do movimento da Terra através do éter que seus nomes são lembrados até hoje. (A. A. Michelson iria tornar-se o primeiro americano a receber o Prêmio Nobel de Física por suas investigações experimentais usando a velocidade da luz para tentar comprovar a existência do éter, e hoje me sinto privilegiado por ocupar a cadeira que foi sua há mais de cem anos. Edward Morley continuou seu renomado trabalho em química, determinando a massa atômica do hélio, entre outras coisas.)

A não-descoberta do éter desencadeou pequenas ondas de choque entre a comunidade de físicos, mas assim como muitas descobertas fundamentais, suas implicações só foram totalmente compreendidas por poucos indivíduos que já haviam começado a reconhecer diversos paradoxos associados à teoria do eletromagnetismo. Nessa época, um jovem estudante secundarista, que tinha apenas 8 anos de idade quando a experiência de Michelson e Morley fora realizada, começou de forma independente a tentar confrontar diretamente esses paradoxos. Em 1905, já com 26 anos, Albert Einstein havia resolvido o problema. Mas, como freqüentemente acontece sempre que um grande salto é dado na Física, os resultados de Einstein originaram

mais perguntas do que respostas.

A solução de Einstein, que formava o cerne de sua teoria da relatividade, baseava-se em um fato simples, mas aparentemente impossível: a única maneira pela qual a teoria do eletromagnetismo de Maxwell poderia ser consistente seria se a velocidade da luz observada independesse da velocidade do observador com relação à luz. O problema é que isso desafia completamente o senso comum. Se a *Enterprise* lançar uma sonda enquanto viaja a uma certa velocidade de impulso, um observador num planeta próximo verá a sonda mover-se a uma velocidade muito maior do que aquela observada por um membro da tripulação a bordo da *Enterprise.* Entretanto, Einstein reconheceu que a teoria de Maxwell seria consistente se, e somente se, as ondas de luz se comportassem de formas diferentes, isto é, se sua velocidade medida pelos dois observadores permanecesse idêntica, independentemente do movimento relativo dos observadores. Portanto, se disparo um feixe de phaser a partir da *Enterprise* e ele se desloca à velocidade da luz em direção a uma nave romulana, que se aproxima da *Enterprise* a uma velocidade de 3/4 da velocidade da luz, os observadores romulanos verão o *phaser* vindo em sua direção à velocidade da luz, e não a 1 ¾ *vez* a velocidade da luz. Esse tipo de coisa confunde alguns *trekkers* que imaginam que, se a *Enterprise* se move a uma velocidade próxima da luz e uma outra nave viaja na direção oposta também a uma velocidade próxima à da luz, a luz da *Enterprise* nunca chegará à outra nave (e portanto a *Enterprise* será invisível para ela). Em vez disso, aqueles na outra nave verão a luz da *Enterprise* se aproximar à velocidade da luz.

Mas não foi só isso o que tornou o nome de Einstein reconhecido. Mais importante foi o fato de que ele estava querendo explorar as implicações desse fato, o que aparentemente parece absurdo. Em nossa experiência normal, o tempo e o espaço é que são absolutos, enquanto a velocidade é algo relativo: a percepção da velocidade com a qual um objeto se move depende da velocidade do observador. Mas à medida que nos aproximamos da velocidade da luz, é a velocidade que se torna uma quantidade absoluta, e portanto *espaço e tempo precisam tornar-se relativos*

Isso acontece porque a velocidade é literalmente definida como a

distância percorrida durante um tempo determinado. Portanto, a única maneira de observadores em movimento relativo poderem medir um raio de luz atravessando uma distância — digamos, 300 milhões de metros — em relação a eles durante, digamos, um segundo é se cada um desses seus "segundos" for diferente ou se cada um de seus "metros" for diferente! A relatividade especial acaba exibindo o "pior dos dois mundos", isto é, segundos e metros tornam-se quantidades relativas.

A partir da conclusão de que a velocidade da luz medida é a mesma para todos os observadores, independentemente de seu movimento relativo, Einstein extraiu as quatro seguintes conseqüências para espaço, tempo e matéria:

(a) Fatos que ocorrem para um observador *ao mesmo tempo em dois lugares diferentes* não precisam acontecer simultaneamente para um outro observador que esteja se movimentando em relação ao primeiro. *O "agora" de cada pessoa é único para cada uma delas. "Antes" e "depois" são relativos para eventos que ocorrem em dois lugares diferentes.*

(b) Todos os relógios em espaçonaves que estejam se movendo em relação a mim irão parecer atrasados comparados com meu relógio. *O tempo medido diminui para objetos em movimento.*

(c) Todos os pontos de referência em espaçonaves que estejam se movendo com relação a mim irão me parecer menores do que se estivessem parados diante de mim. *Os objetos medidos, incluindo espaçonaves, se contraem quando em movimento.*

(d) Todos os objetos aumentam sua massa quanto mais rapidamente se deslocam. Conforme sua velocidade aproxima-se da velocidade da luz, vai aumentando sua massa infinitamente. *Na realidade, somente entes sem massa — como a luz — é que podem viajar à velocidade da luz.*

Este não é o lugar para examinarmos todos os maravilhosos paradoxos aparentes que a relatividade trouxe ao mundo. Basta dizer que, gostando ou não, as conseqüências de (a) a (d) são verdadeiras, isto é, elas foram testadas.

Relógios atômicos foram colocados em aviões de alta velocidade, voando a grandes altitudes, e retornaram atrasados com relação ao

controle na terra. Em laboratórios de Física de alta energia pelo mundo, todo as conseqüências da teoria da relatividade são o "feijão-com-arroz" diário da experimentação. Partículas elementares instáveis são aceleradas a velocidades próximas da velocidade da luz, e confirmou-se que seu tempo de vida é multiplicado várias vezes. Quando elétrons, que em repouso têm 2 mil vezes menos massa que os prótons, são acelerados a velocidades próximas da velocidade da luz, observa-se que seu momento é equivalente ao de objetos com maior massa. De fato, um elétron acelerado a 0,9999999999999999999999999999999999999999999999999999999 9999999999 vez a velocidade da luz atingiria um ser humano com o mesmo impacto de um caminhão viajando a uma velocidade normal.

Claro, o motivo que torna a aceitação de todas essas conseqüências da relatividade do espaço e tempo tão difícil para nós é que vivemos e nos movimentamos a velocidades muito menores do que a da luz. Cada um dos efeitos descritos acima só é percebido quando se move a velocidades "relativísticas". Por exemplo, mesmo à metade da velocidade da luz, relógios iriam atrasar-se e pontos de referência encolheriam em cerca de apenas 15%. No ônibus espacial da NASA, que viaja em torno da Terra a 8 quilômetros por segundo, os relógios batem com um atraso de um décimo milionésimo de ponto porcentual em relação a seus correspondentes na Terra.

Entretanto, no mundo das altas velocidades da *Enterprise* ou de qualquer outra espaçonave, a relatividade teria de ser enfrentada diariamente. De fato, podemos imaginar as dificuldades da Federação para sincronizar os relógios em grande parte da galáxia, quando a maioria deles se desloca aproximadamente com a velocidade da luz. O resultado é que a Frota Estelar aparentemente determina que as operações em impulso normal para naves estelares devem se limitar a 0,25 *c* — isto é, 1/4 da velocidade da luz ou meros 75 mil km/s.*

* STERNBACH, Rick, OKUDA, Michael. *Star Trek: The Next Generation - Technical Manual.* New York: Pocket Books, 1991.

Mesmo com essa regra, os relógios a bordo de naves viajando a essa velocidade apresentarão um atraso de pouco mais de 3% com relação aos do Comando da Frota Estelar. Isso significa que, em um mês de viagem, o atraso será de quase um dia. Se a *Enterprise*

retornasse ao Comando da Frota Estelar depois de uma viagem dessas, na nave seria sexta-feira, mas na Terra seria sábado. Suponho que isso não seria mais inconveniente do que acertar o relógio depois de cruzar a Linha Internacional de Data, quando viajamos ao oriente, exceto pelo fato de a tripulação estar *na realidade* um dia mais jovem depois da viagem. Ganhamos um dia ao visitar o oriente, mas também perdemos um dia ao retornar.

Percebe-se então como a velocidade de dobra *(warp) é* importante para a *Enterprise.* Ela serve não apenas para evitar a velocidade da luz, permitindo assim que na prática seja possível cruzar a galáxia, mas também para evitar os problemas de dilatação do tempo que ocorrem quando a nave viaja próxima à velocidade da luz.

Não é possível enfatizar suficientemente a importância desses fatos. O fenômeno do atraso dos relógios ao se aproximar da velocidade da luz foi tomado pelos escritores de ficção científica (e também por todos aqueles que sonham em viajar pelas estrelas) como a abertura de uma possibilidade de cruzar as vastíssimas distâncias entre as estrelas no tempo de uma vida — humana pelo menos o daquelas a bordo da espaçonave. A uma velocidade próxima da velocidade da luz, uma viagem até o centro de nossa galáxia demoraria mais de 25 mil anos em tempo terrestre. Para aqueles a bordo da nave, se ela se mover suficientemente perto da velocidade da luz, a viagem pode durar menos de dez anos. Um tempo longo, mas não impossível. Contudo, se isso torna possíveis as viagens individuais de exploração, a administração de uma Federação de civilizações espalhadas pela galáxia seria impossível. Como os roteiristas de Jornada nas Estrelas corretamente previram, o fato de uma viagem de dez anos da *Enterprise* corresponder a um período de 25 mil anos para o Comando da Frota Estelar seria caótico para qualquer comando operacional que esperasse organizar e controlar os movimentos de diversas naves como ela. Portanto, é absolutamente essencial que (a) a velocidade da luz seja evitada para não colocar a Federação fora de sincronismo, *e* (b) que as viagens a velocidades maiores do que a da luz sejam feitas para que se possa circular pela galáxia inteira.

O problema é que, exclusivamente no contexto da relatividade, o

item (b) acima *não pode ser realizado.* A Física torna-se cheia de impossibilidades quando se considera o movimento acima da velocidade da luz. Um dos maiores problemas é o do ganho de massa dos objetos aproximando-se da velocidade da luz, o que requer cada vez mais energia para acelerá-los cada vez menos. Assim como no mito grego de Sísifo, condenado por toda a eternidade a empurrar montanha acima uma pedra que sempre rolaria encosta abaixo antes de atingir o topo, toda a energia do universo não seria suficiente para acelerar um grão de areia, quanto mais uma espaçonave, para além da velocidade da luz.

Pelo mesmo motivo, não apenas a luz, mas toda radiação desprovida de massa, *precisa* viajar à velocidade da luz. Isso significa que os diversos tipos de seres de "energia pura" encontrados pela *Enterprise*, e mais tarde pela *Voyager*, teriam dificuldades para existir da forma como foi mostrado. Em primeiro lugar, eles não poderiam ficar parados. A luz não pode ficar parada no vazio do espaço. Em segundo lugar, qualquer forma de vida de energia inteligente (como os seres de energia "fotônicos" na série *Voyager*, os seres de energia na nuvem Beta Renna, em *The Next Generation (A Nova Geração)*, os zetarianos na série clássica e os Dal'Rok na *Deep Space Nine)* que é obrigada a viajar à velocidade da luz teria relógios infinitamente atrasados em comparação com os nossos. A história inteira do universo aconteceria em um único instante. Se seres de energia pudessem experimentar algo, essa experiência aconteceria toda de uma só vez! É desnecessário dizer que, antes de poderem realmente interagir com seres corpóreos, estes já estariam mortos há muito tempo.

Por falar em tempo, penso que é hora de apresentar a Manobra Picard. Jean-Luc tornou-se famoso por criar essa tática quando servia a bordo da *Stargazer*. Apesar de envolver velocidade de dobra, ou uma velocidade superior à da luz, que já demonstramos ser impossível com base apenas na relatividade, ela a utiliza apenas por um instante, e vem ao encontro do que expomos aqui. Na Manobra Picard, para confundir o inimigo em posição de ataque, nossa própria nave é acelerada à velocidade de dobra durante um instante. Para o inimigo, ela parecerá estar em dois lugares ao mesmo tempo, porque, viajando

mais rápido que a luz por um momento, ela *ultrapassa* os raios de luz emitidos imediatamente antes de a velocidade de dobra ser acionada. Mas se é uma estratégia brilhante, e parece ser completamente consistente enquanto tal (claro, ignorando-se a questão da possibilidade de se atingir velocidade de dobra), eu penso que podemos perceber que ela abre uma verdadeira caixa de Pandora. Em primeiro lugar, levanta uma questão já colocada por diversos *trekkers* ao longo dos anos: como a tripulação da ponte da *Enterprise* pode "ver" objetos aproximando-se à velocidade de dobra? Assim como a *Stargazer* ultrapassou a própria imagem, todos os outros objetos viajando em velocidade de dobra também irão fazê-lo. Só seria possível ver a imagem em movimento de um objeto em velocidade de dobra muito depois de ele ter chegado. Só podemos concluir que, quando Kirk, Picard ou Janeway solicita a imagem na tela de vídeo, o resultado é uma imagem colhida por alguma espécie de sensor de longo alcance "subespacial" (isto é, comunicação à velocidade superior a da luz.) Mesmo ignorando esse aparente deslize, o universo de Jornada nas Estrelas seria interessante e de difícil navegação, cheio de imagens fantasmas de objetos que há muito tempo chegaram a seus destinos em velocidade de dobra.

Mas voltando ao mundo da velocidade subluz: ainda não terminamos com Einstein. Sua famosa relação entre massa e energia, $E=mc^2$, que é conseqüência da relatividade especial, apresenta mais um desafio para as viagens espaciais em velocidade de impulso (próximas à da luz). Como descrevi no Capítulo 1, um foguete é um dispositivo que lança materiais para trás para poder se mover para a frente. Como podemos imaginar, quanto mais rápido o material for lançado para trás, maior será o impulso para a frente que o foguete receberá. Materiais não podem ser lançados para trás a velocidades maiores do que a da luz. Mesmo seu lançamento à velocidade da luz não é fácil: a única maneira de lançar propelentes para trás à velocidade da luz seria com um combustível feito de matéria e antimatéria, que (conforme explicaremos mais adiante) cancelam-se mutuamente de forma completa, produzindo uma radiação pura que se move à velocidade da luz.

Entretanto, se o fator dobra da *Enterprise* utiliza esse combustível,

o de impulso não faz uso dele. Sua energia provém da fusão nuclear, a mesma reação nuclear do Sol, que transforma hidrogênio em hélio. Nas reações de fusão, cerca de 1% da massa disponível é convertido em energia. Com toda essa energia, os átomos de hélio resultantes são lançados para trás a cerca de 1/8 da velocidade da luz. Utilizando essa velocidade de exaustão como propelente, é possível calcular a quantidade de combustível que a *Enterprise* precisa para acelerar a, digamos, metade da velocidade da luz. O cálculo não é difícil, mas aqui daremos apenas a resposta, que pode ser surpreendente. Cada vez que a *Enterprise* acelera à metade da velocidade da luz, ela precisa queimar uma quantidade de hidrogênio correspondente a *81 VEZES SUA MASSA*. Dado que uma nave estelar da Classe Galáxia como a *Enterprise D* de Picard teria mais de 4 milhões de toneladas*, isso significaria que mais de 300 milhões de toneladas de combustível seriam necessários para acelerar a nave à metade da velocidade da luz. Se o sistema de propulsão matéria-antimatéria for usado no motor de impulso, as coisas melhoram um pouco. Nesse caso, seria preciso apenas *duas vezes* a massa da *Enterprise* para se obter tal aceleração.

* STERNBACH, Rick, OKUDA, Michael. *Star Trek: The Next Generation — Technical Manual.* New York: Pocket Books, 1991.

Mas a coisa piora. O cálculo acima serve apenas para uma única aceleração. Fazer a nave parar em seu destino consumiria a mesma quantidade de combustível, 81 vezes sua massa. Isso significa que apenas para ir a algum lugar à metade da velocidade da luz e parar na chegada, seria preciso 81 x 81 = 6561 *vezes sua massa apenas em combustível.* Além disso, digamos que se queira atingir a aceleração de metade da velocidade da luz em poucas horas (supomos, é claro, que os neutralizadores de inércia estejam realizando sua tarefa de proteger a nave e sua tripulação da tremenda força G decorrente disso). A potência irradiada como propelente pelos motores seria então de cerca de 10^{22} watts, ou um bilhão de vezes a média de produção e consumo de energia de todas as atividades humanas na Terra!

Mas você pode sugerir (como um brilhante colega meu fez quando apresentei a ele esses argumentos) que existe uma saída. O argumento gira em torno da necessidade de transportar todo o combustível junto

com a nave. Mas e se formos colhendo o combustível à medida que viajamos? Sabemos que o hidrogênio é o elemento mais abundante no universo. Não seria possível recolhê-lo ao nos movermos pela galáxia? Bem, a densidade média de matéria em nossa galáxia é de cerca de um átomo de hidrogênio por centímetro cúbico. Para colher um grama por segundo, mesmo nos movendo a uma boa fração da velocidade da luz, seria necessário utilizar painéis com um diâmetro superior a 40 quilômetros. E mesmo transformando toda essa matéria em energia para propulsão, ela forneceria apenas um centésimo milionésimo de toda a potência propulsora necessária!

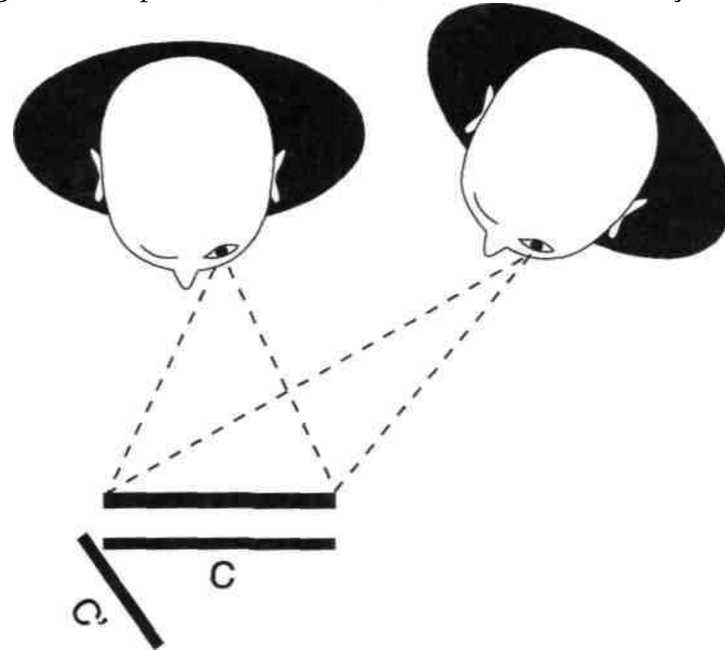
Parafraseando o vencedor do Prêmio Nobel de Física Edward Purcell, cujos argumentos adaptei e ampliei neste livro: Se isso soa absurdo para você, você está certo. Esse absurdo vem das leis elementares da mecânica clássica e da relatividade especial. Os argumentos apresentados aqui são tão inevitáveis quanto o fato de que uma bola cairá quando você a largar perto da superfície da Terra. Usar propulsão de foguete para viajar pela galáxia com aproximadamente a velocidade da luz *não é fisicamente prático*, nem hoje, nem nunca!

Devemos terminar o livro aqui? Ou devolver todos os nossos objetos de Jornada nas Estrelas e pedir reembolso? Bem, ainda não acabamos com Einstein. Sua descoberta final, talvez a maior de todas, ainda nos dá um fio de esperança, no final das contas.

Voltemos rapidamente a 1908: a descoberta da relatividade do tempo e espaço feita por Einstein gerou uma daquelas experiências determinantes que de vez em quando mudam o aspecto de nosso universo. Foi no outono de 1908 que o físico-matemático Hermann Minkowski escreveu estas famosas palavras: "Daqui por diante, o espaço em si e o tempo em si estão fadados a desaparecer em meras sombras, e apenas uma espécie de união dos dois preservará a realidade independente".

Minkowski percebeu que, apesar de espaço e tempo serem relativos para os observadores em movimento relativo — seu relógio bate diferente do meu, e minhas distâncias são diferentes das suas —, se tempo e espaço forem misturados como parte de um todo de quatro dimensões (três dimensões de espaço e uma de tempo), uma realidade objetiva "absoluta" subitamente reaparecerá.

A visão de Minkowski pode ser explicada se recorrermos a um mundo no qual todos teriam visão monocular, portanto sem percepção direta de profundidade. Se eu segurasse uma régua e pedisse a duas pessoas em pontos diferentes que a observassem com apenas um olho, para reduzir a percepção de profundidade, cada uma visualizaria uma régua de comprimento diferente, como mostra a ilustração.



Cada observador no exemplo acima, sem a capacidade direta de discernir a profundidade, chamará de comprimento (C ou C') a projeção bidimensional em seu plano de visão do comprimento real tridimensional da régua. Ora, como sabemos que o espaço tem três dimensões, não nos enganamos com esse truque. Sabemos que ver algo de ângulos diferentes não muda seu comprimento real, mesmo que seu comprimento aparentemente se modifique. Minkowski mostrou que a mesma idéia pode explicar diversos paradoxos da relatividade, se supusermos que nossa percepção do espaço é apenas uma fatia tridimensional daquela realidade em quatro dimensões, na qual espaço e tempo são unificados. Dois observadores diferentes em movimento relativo percebem fatias tridimensionais *diferentes* do espaço em quatro dimensões, da mesma maneira que os dois

observadores do exemplo vêem duas fatias bidimensionais *diferentes* de um mesmo espaço tridimensional.

Minkowski imaginou que a distância espacial medida por dois observadores em movimento relativo é a projeção de uma *distância do espaço-tempo subjacente em quatro dimensões* sobre um espaço tridimensional que eles podem perceber. Da mesma maneira, a "distância" temporal entre dois fatos é a projeção de uma distância do espaço-tempo em quatro dimensões sobre sua própria linha de tempo. Assim como girar algo em três dimensões pode confundir sua largura com profundidade, o movimento relativo no espaço em quatro dimensões também pode confundir as percepções de "espaço" e "tempo" de diferentes observadores. Finalmente, assim como o comprimento de um objeto não muda quando o giramos no espaço, a distância do espaço-tempo em quatro dimensões entre dois fatos é absoluta, independentemente de como os diversos observadores em movimento relativo designam as distâncias "espaciais" e "temporais".

Portanto, a absurda estabilidade da velocidade da luz para todos os observadores forneceu uma pista-chave para revelar a verdadeira natureza do universo do espaço-tempo em quatro dimensões no qual realmente vivemos. *A luz revela a conexão oculta entre tempo e espaço.* De fato, a velocidade da luz *define* essa conexão.

E aqui que Einstein voltou para salvar o dia de Jornada nas Estrelas. Com a demonstração de Minkowski de que o espaço-tempo na relatividade especial é como uma folha de papel em quatro dimensões, Einstein passou a maior parte da década seguinte flexionando seus músculos matemáticos até estar apto a dobrar essa folha, o que por sua vez nos permite quebrar as regras do jogo. Como era de esperar, novamente a luz foi a chave de tudo.

3 HAWKING MOSTRA SUA MÃO

"Quão pouco vocês mortais compreendem o tempo. Você precisa ser tão linear, Jean-Luc?"

Q para Picard, em "All Good Things..." ("Todas as Coisas Boas...")

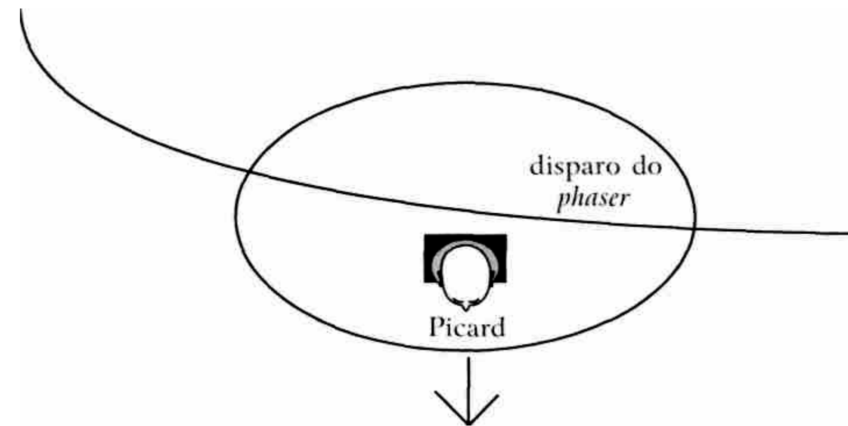
O planeta Vulcano, lar de Spock, na realidade tem uma venerável história na Física do século XX. Um grande enigma na astrofísica do início do século era o fato de que a precessão do periélio de Mercúrio — o ponto de sua maior aproximação do Sol — apresentava pequenas variações de ano para ano que eram inconsistentes com a gravidade Newtoniana. Foi sugerido que um novo planeta existente na órbita de Mercúrio iria perturbá-lo de forma tal que explicasse o problema (de fato, esta mesma solução para uma anomalia na órbita de Urano levou ao descobrimento de Netuno.) O nome dado ao planeta hipotético foi Vulcano.

Mas o misterioso planeta Vulcano não está lá. Em vez disso, Einstein propôs que o espaço plano de Newton e Minkowski deveriam ser substituídos pelo espaço-tempo curvo da relatividade geral. Nesse espaço curvo, a órbita de Mercúrio iria desviar-se ligeiramente daquela prevista por Newton, o que explica a discrepância observada. Se isso eliminou a necessidade do planeta Vulcano, acabou introduzindo possibilidades muito mais excitantes. Junto com o espaço curvo vêm os buracos negros, os buracos de minhoca e talvez até mesmo as velocidades de dobra e as viagens no tempo.

De fato, muito antes dos roteiristas de Jornada nas Estrelas conjurarem os campos de dobra, Einstein dobrou o espaço-tempo, utilizando, assim como eles, nada além de sua própria imaginação. Entretanto, em vez de imaginar tecnologias de naves estelares do século XXIII, Einstein imaginou um elevador. Sem dúvida ele era um grande físico, mas provavelmente nunca conseguiria vender um roteiro cinematográfico.

Apesar disso, seus argumentos permanecem intactos quando traduzidos a bordo da *Enterprise.* Como a luz é o fio que costura

espaço e tempo em um só tecido, as trajetórias dos raios de luz nos dão um mapa do espaço-tempo tão seguramente quanto a trama do tecido elucida o padrão de uma tapeçaria. A luz geralmente viaja em linha reta, mas e se um comandante romulano a bordo de uma nave de guerra dispara um *phaser* contra Picard, que sentado na ponte de comando de seu iate *Calypso* teria ligado os motores de impulso? (Assumimos que os neutralizadores de inércia estejam desligados neste exemplo.) Picard aceleraria para a frente, escapando por pouco do *phaser*. Quando vistas do ponto de referência de Picard, as coisas teriam o aspecto delineado pelo quadro abaixo.



Portanto, para Picard, a trajetória do feixe de *phaser* seria curva. Além disso, o que mais ele perceberia? Recordando o argumento do primeiro capítulo, se os neutralizadores de inércia estiverem desligados, ele será pressionado contra o assento. De fato, também notamos que, se Picard fosse acelerado para diante, na mesma proporção em que a gravidade acelera os objetos em direção à superfície da Terra, ele seria empurrado contra o assento exatamente com a mesma força que o empurraria para baixo se estivesse em pé na Terra. Na realidade, Einstein argumentou que Picard (ou seu equivalente num elevador em ascensão) nunca poderia realizar qualquer experiência que tornasse evidente a diferença entre a força de reação devida à sua aceleração e a atração gravitacional de algum

objeto pesado próximo à nave. Por causa disso, Einstein audaciosamente foi aonde nenhum físico jamais esteve, e raciocinou que, qualquer que seja o fenômeno que o observador em aceleração experimente, ele será igual ao fenômeno experimentado por um observador num campo gravitacional.

Isso quer dizer o seguinte: uma vez que Picard observa o feixe de *phaser* se dobrando ao acelerar para longe dele, o raio também precisa se dobrar em um campo gravitacional. Mas se os raios de luz mapeiam o espaço-tempo, então *o espaço-tempo* precisa se dobrar em um campo gravitacional. Finalmente, uma vez que a matéria produz um campo gravitacional, então *a matéria deve dobrar o espaço-tempo*

Mas é possível argumentar que, se a luz tem energia, e massa e energia estão relacionadas pela famosa equação de Einstein, então o fato de a luz se dobrar em um campo gravitacional não é uma grande surpresa — e certamente não parece implicar que devamos acreditar que o próprio espaço-tempo precisa ser curvo. Afinal, os caminhos seguidos pela matéria também se curvam (tente atirar uma bola no ar.) Galileu poderia ter demonstrado, se conhecesse tais objetos, que as trajetórias de bolas e de mísseis Pathfinder se curvam, mas ele nunca teria mencionado o espaço curvo.

Bem, acontece que é possível calcular quanto um raio de luz deveria se dobrar se a luz se comportasse como uma bola. Então, bastaria seguir adiante e medir essa curvatura, como Sir Arthur Stanley Eddington fez em 1919, quando liderou uma expedição para observar a posição aparente das estrelas muito próximas do Sol durante um eclipse solar. Surpreendentemente, notaríamos, como Eddington, que a luz se curva exatamente duas vezes mais do que Galileu teria previsto se ela se comportasse como uma bola no espaço plano. Como podemos adivinhar, esse fator de 2 é exatamente o que Einstein previu se o espaço-tempo fosse curvado nas vizinhanças do Sol e a luz (ou o planeta Mercúrio, no caso) estivesse viajando em linha reta neste espaço curvo! De repente, o nome de Einstein foi reconhecido mundialmente.

O espaço curvo abre todo um universo de possibilidades. Repentinamente nós, e a *Enterprise,* somos libertados dos grilhões que o pensamento linear nos impunha no contexto da relatividade especial,

que Q, por exemplo, parece detestar. Em um contexto curvo, pode-se fazer muitas coisas que seriam impossíveis em um plano. Por exemplo, é possível viajar sempre na mesma direção e ainda assim retornar ao ponto de partida. As pessoas que dão a volta ao mundo fazem isso o tempo todo.

É simples traduzir em palavras a premissa central da relatividade geral de Einstein: a curvatura do espaço-tempo é diretamente determinada pela distribuição de matéria e energia contidas nele. De fato, as equações de Einstein fornecem a estrita relação matemática entre curvatura, de um lado, e matéria e energia, de outro:

Lado esquerdo = Lado direito
{CURVATURA} {MATÉRIA E ENERGIA}

O que torna essa teoria tão diabolicamente difícil de trabalhar é este simples ciclo de realimentação: a curvatura do espaço-tempo é determinada pela distribuição de matéria e energia no universo, mas esta distribuição, por sua vez, é governada pela curvatura do espaço. É como a história do ovo e da galinha. Qual veio primeiro? A matéria age como a origem da curvatura, que por sua vez determina a evolução da matéria, que por sua vez altera a curvatura, e assim por diante.

Na verdade, isoladamente, esse pode ser o aspecto mais importante da relatividade geral no que tange a Jornada nas Estrelas. A complexidade da teoria significa que ainda não compreendemos completamente todas as suas conseqüências; portanto, não podemos excluir diversas possibilidades exóticas. São elas os tijolos do edifício de Jornada nas Estrelas. De fato, veremos que todas essas possibilidades apóiam-se em um enorme desconhecimento que permeia tudo, desde os buracos negros até as máquinas do tempo.

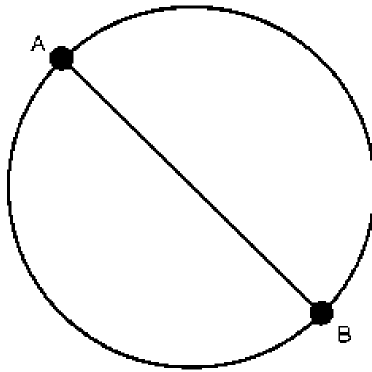
A primeira conseqüência do fato de o espaço-tempo não precisar ser plano, que terá importância para as aventuras da *Enterprise*, é a de que o próprio tempo se torna uma quantidade ainda mais dinâmica do que era na relatividade especial. O tempo pode fluir em velocidades diferentes para diferentes observadores, mesmo se eles não estiverem se movendo uns em relação aos outros. Pense nas batidas do relógio

como as batidas de uma régua feita de borracha. Se esticarmos ou dobrarmos a régua, o intervalo entre as batidas variará de ponto para ponto. Se esses intervalos representam as batidas de um relógio, então relógios colocados em lugares diferentes baterão com velocidades diferentes. Na relatividade geral, a única maneira de "dobrar" uma régua é com a presença de um campo gravitacional, que por sua vez requer a presença de matéria.

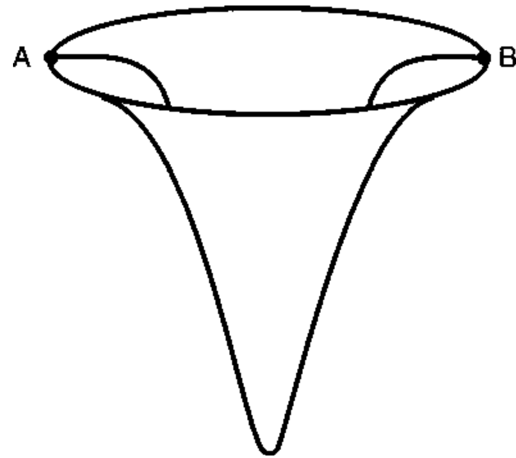
Traduzindo isso em termos mais pragmáticos: se colocarmos uma bola de ferro pesada perto de um relógio, ela deverá mudar a velocidade das batidas do relógio. Ou ainda: se eu dormir com o despertador junto à massa em repouso de meu corpo, serei acordado um pouquinho mais tarde, pelo menos com relação ao resto do mundo.

Uma famosa experiência realizada no laboratório de Física da Universidade de Harvard, em 1960, demonstrou pela primeira vez que o tempo pode depender de onde se está. Robert Pound e George Rebka mostraram que a freqüência da radiação gama medida em sua fonte, no porão do prédio, era diferente daquela recebida a mais de 24 metros acima, no teto do edifício (com os detetores cuidadosamente calibrados para que essa diferença não fosse devida a eles.) A diferença era incrivelmente pequena, cerca de uma parte por trilhão. Se cada ciclo da onda de raios gama for equivalente a uma batida do relógio, essa experiência implicará que um relógio no porão parecerá estar funcionando mais devagar do que um relógio atômico equivalente colocado no teto do prédio. O tempo atrasa no andar inferior porque está mais perto da Terra do que o teto, portanto o campo gravitacional e conseqüentemente a curvatura do espaço-tempo serão maiores lá. Mesmo sendo mínimo, esse efeito foi precisamente aquele previsto pela relatividade geral, assumindo-se que o espaço-tempo se curva próximo à Terra.

A segunda conseqüência da curvatura do espaço-tempo talvez seja ainda mais excitante com relação às viagens espaciais. Se o espaço é curvo, então uma linha reta não precisa ser a distância mais curta entre dois pontos. Por exemplo, consideremos um círculo num pedaço de papel. Normalmente a menor distância entre dois pontos A e B localizados em lados opostos do círculo é dada por uma linha que, ligando-os, passa pelo centro da circunferência:



Se em vez disso viajássemos ao redor do círculo para ir de A até B, a viagem seria 1 1/2 vez maior. Contudo, vamos desenhar esse círculo em uma folha de borracha e distorcer a região central:



Visto agora pela nossa perspectiva tridimensional, fica claro que a viagem de A até B através da região central seria muito mais longa do que aquela feita ao redor da circunferência. Note que, se olharmos de cima, teríamos apenas uma perspectiva bidimensional, e portanto a linha de A a B pareceria reta. Mais relevante talvez, se um pequeno besouro (ou seres bidimensionais do tipo encontrado pela *Enterprise)* seguisse a trajetória de A a B através do centro arrastando-se ao longo da superfície da folha, essa trajetória pareceria ser reta. O besouro iria

surpreender-se ao descobrir que a linha reta entre A e B, passando pelo centro, não era mais a menor distância entre esses dois pontos. Se ele fosse inteligente, seria forçado a concluir que o espaço bidimensional no qual vive é curvo. Somente ao ver a parte inferior dessa folha pela perspectiva espacial tridimensional subjacente é que podemos observar diretamente a curvatura.

Mas devemos nos lembrar de que, apesar de vivermos num espaço-tempo de quatro dimensões que pode ser curvado, não podemos observar diretamente essa curvatura, assim como o besouro andando sobre a superfície da folha também não consegue detectar sua curva. Isso significa que, se no espaço curvo a distância mais curta entre dois pontos não precisa ser uma linha reta, então pode ser possível percorrer o que *ao longo da linha de visão* parece ser uma longa distância, encontrando um caminho mais curto através do espaço-tempo curvo.

Essas propriedades que descrevemos são a matéria com a qual os sonhos de Jornada nas Estrelas são feitos. Claro, a questão é: quantos desses sonhos um dia irão realizar-se?

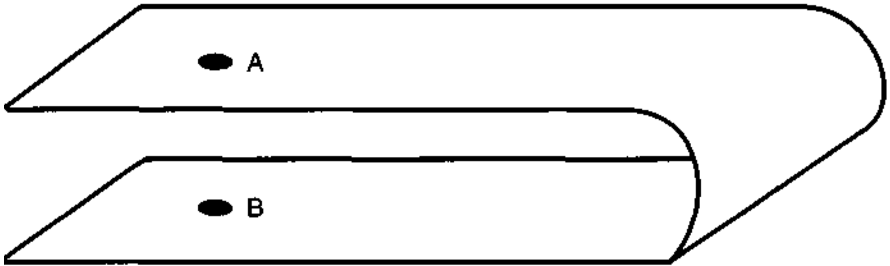
BURACOS DE MINHOCA: FATO E FANTASIA O buraco de minhoca bajorano* em *Deep Space Nine é* talvez o mais famoso de Jornada nas Estrelas, apesar de haver diversos outros, incluindo o perigoso buraco que Scotty teria criado ao desequilibrar a mistura matéria-antimatéria nos motores de dobra da *Enterprise;* o instável buraco Barzan, através do qual uma nave Ferengi se perdeu no episódio "The Price" ("O Preço") da série *The Next Generation (A Nova Geração);* e o buraco temporal encontrado pela *Voyager* durante seu esforço para retornar de uma viagem ao outro lado da galáxia.

* N.R.F.C.: Também referido em algumas versões em português como "fenda espacial".

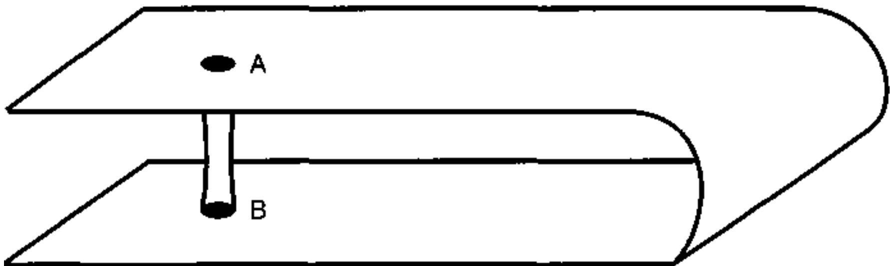
A idéia a partir da qual os buracos de minhoca surgiram é exatamente a descrita acima. Se o espaço-tempo é curvo, então talvez existam maneiras distintas de ligar dois pontos, para que a distância entre eles seja mais curta do que aquela percorrida por uma "linha reta" através do espaço curvo. Como é impossível visualizar os fenômenos no espaço curvo em quatro dimensões, novamente

recorreremos a uma folha de borracha bidimensional, cuja curvatura podemos observar através da perspectiva tridimensional.

Se a folha fosse curvada em larga escala, podemos imaginar que ela seria mais ou menos assim:



Claro, se espetássemos um lápis em A até tocarmos B, ligando então as duas partes da folha da seguinte maneira:



criaríamos um caminho entre A e B que seria muito mais curto do que aquele que liga os dois pontos, traçando uma linha sobre a superfície da folha. Note também que a folha parece plana perto de A e também de B. A curvatura que aproxima esses dois pontos o suficiente para ligá-los por um túnel deve-se à dobra global da folha a grandes distâncias. Um pequeno besouro (até mesmo um inteligente) em A, restrito à sua caminhada sobre a folha, nunca perceberia que B está tão "perto", mesmo se fizesse experimentações locais perto de A para verificar a curvatura da folha.

Como é possível perceber, o túnel ligando A a B nessa figura é uma analogia bidimensional de um buraco de minhoca tridimensional, que em princípio poderia conectar regiões distantes do espaço-tempo. Por mais que essa possibilidade seja excitante, há diversos aspectos decepcionantes na figura que é preciso considerar. Em primeiro lugar, apesar de a folha de borracha ser mostrada numa perspectiva

tridimensional, para que possamos "ver" sua curvatura, esta folha curva existe sem que a existência do espaço tridimensional, seja necessária. Portanto, mesmo que o buraco de minhoca exista ligando A a B, não há nenhum sentido no qual nenhum A e B estejam "perto" *sem* que o buraco de minhoca esteja presente. O que ocorre é que não somos livres para deixar o plano da folha e passar de A a B através do espaço tridimensional que contém a folha. Se esse espaço em três dimensões não está lá, a folha de borracha é tudo o que existe no universo.

Portanto, vamos imaginar que somos uma civilização infinitamente avançada (mas não tanto quanto os onipotentes seres Q, que parecem transcender as leis da Física) que pode construir buracos de minhoca no espaço. Seu dispositivo construtor de buracos seria efetivamente como o lápis no exemplo acima. Tendo o poder de produzir grandes curvaturas no espaço, seria preciso perfurar cegamente na esperança de ligar de alguma forma duas regiões do espaço que até então estavam muito distantes uma da outra. De forma alguma essas duas regiões estariam ligadas até que o buraco produzisse a passagem. É o *próprio* processo de construção dessa passagem que modifica a natureza global do espaço-tempo.

Por causa disso, fazer um buraco de minhoca é coisa séria. Quando a primeira ministra Bhavani de Barzan visitou a *Enterprise* para leiloar os direitos sobre o buraco de Barzan, ela exclamou: "Vocês estão diante do primeiro e único buraco de minhoca estável que existe!". Mas, infelizmente, ele não era estável. De fato, os únicos buracos de minhoca cuja existência matemática foi estabelecida consistentemente no contexto da relatividade geral são transitórios. Tais buracos são criados quando duas microscópicas "singularidades" — regiões do espaço-tempo em que a curvatura torna-se infinitamente aguda encontram-se e momentaneamente se unem. No entanto, ele se fecha antes que um viajante espacial possa atravessá-lo, restando apenas as duas singularidades originais separadas. O infeliz explorador seria pulverizado em uma ou outra das singularidades antes de poder completar a viagem através do buraco de minhoca

O problema de como manter aberta a boca de um buraco de minhoca é espantosamente difícil de ser resolvido em detalhes

matemáticos, mas bastante fácil de colocar em termos físicos: a gravidade suga! Qualquer tipo normal de matéria ou energia tenderia a entrar em colapso sob a força de sua própria atração gravitacional, a menos que alguma coisa impedisse este processo. Da mesma forma, a boca de um buraco de minhoca em circunstâncias normais não "beliscará" nada plano.

Logo, o truque é se livrar das circunstâncias normais. Nos últimos anos, o físico da Caltech, Kip Thorne, entre outros, argumentou que a única maneira de manter esses buracos abertos é costurá-los com "materiais exóticos". Isso significa materiais nos quais pelo menos certos observadores podem medir energia "negativa". Como se pode esperar (apesar de esperanças ingênuas serem notoriamente suspeitas na relatividade geral), tais materiais tenderiam a "explodir" e não a "sugar", no que diz respeito à gravidade.

Pode ser que nem mesmo um *trekker* dos mais fanáticos queira suspender seu ceticismo durante tempo suficiente para aceitar a idéia de matéria com energia "negativa". Entretanto, conforme já notamos, no espaço curvo as expectativas normais freqüentemente são suspeitas. Ao acrescentar as excentricidades impostas pelas leis da mecânica quântica, que governam o comportamento da matéria em escala pequena, literalmente quase todas as suposições são excluídas.

OS BURACOS NEGROS E O DR. HAWKING Surge Stephen Hawking. Ele se tornou bastante conhecido entre os físicos por seu trabalho em relatividade geral, fornecendo teoremas gerais relacionados com singularidades no espaço-tempo e mais tarde, em 1970, por suas notáveis descobertas teóricas sobre o comportamento dos buracos negros. Esses objetos são formados por matéria que entrou em colapso tão radicalmente que o campo gravitacional em sua superfície impede até mesmo a luz de escapar.

Incidentalmente, o termo "buraco negro", que tanto cativou a imaginação popular, foi cunhado pelo físico John Archibald Wheeler, da Universidade de Princeton, no final do outono de 1967. A data é bastante interessante, porque tanto quanto se pode determinar, o primeiro episódio de Jornada nas Estrelas a se referir a buracos negros, chamados de "estrelas negras", foi levado ao ar em 1967, antes

mesmo de Wheeler ter usado o termo em público. Ao ver o episódio quando preparava este livro, achei interessante que os escritores de Jornada nas Estrelas tivessem errado o nome. Agora me dou conta de que eles quase o inventaram!

Os buracos negros são objetos notáveis por diversos motivos. Primeiro, todos os buracos negros eventualmente ocultam uma singularidade do espaço-tempo em seu centro, e qualquer coisa que caia nele inevitavelmente irá encontrá-la. Em uma tal singularidade — uma "cúspide" do espaço-tempo infinitamente curva —, as leis da Física tais como as conhecemos não se aplicam. A curvatura próxima à singularidade é tão grande em uma região tão pequena que os efeitos da gravidade são governados pelas leis da mecânica quântica. Mas ninguém ainda conseguiu escrever uma teoria que concilie de forma consistente a relatividade geral (isto é, a gravidade) e a mecânica quântica. Os roteiristas de Jornada nas Estrelas reconheceram corretamente a tensão entre a mecânica quântica e a gravidade, pois usualmente se referem a todas as singularidades do espaço-tempo como "singularidades quânticas". Entretanto, uma coisa é certa: no momento em que o campo gravitacional no centro de um buraco negro atingir uma força grande o suficiente para destruir nossa concepção atual da Física, qualquer objeto físico comum será despedaçado de maneira tal que seu reconhecimento será impossível. Nada poderia sobreviver intacto.

Pode-se notar que me referi ao buraco negro "ocultando" uma singularidade em seu centro. Isso ocorre porque, ao redor do buraco negro, existe uma superfície matematicamente definida chamada de "horizonte de eventos", que nos impede de observar o que acontece com os objetos que caem no buraco. Dentro desse horizonte de eventos, cedo ou tarde tudo atingirá a ameaçadora singularidade. Fora desse horizonte de eventos, os objetos podem escapar. Mas se um observador, cuja má sorte o leve a cair num buraco negro, não nota nada de especial ao cruzar o horizonte de eventos, um outro observador que assista a esse processo à distância vê algo bastante diferente. O tempo fica mais lento para o observador em queda livre nas vizinhanças do horizonte de eventos em relação ao observador mais distante. O resultado é que o observador em queda parecerá, para

quem olha de fora, estar reduzindo sua velocidade ao se aproximar do horizonte de eventos. Quanto mais perto do horizonte de eventos estiver, mais devagar seu relógio baterá em relação ao do observador externo. Se, por um lado, o observador em queda levar apenas alguns momentos (em tempo local) para cruzar o horizonte de eventos — onde, repito, nada de especial acontece nem existe —, para quem observa de fora, isso levará uma eternidade. O objeto em queda parecerá congelado no tempo.

Além disso, a luz emitida por qualquer objeto em queda torna-se cada vez mais difícil de ser vista de fora. Ao se aproximar do horizonte de eventos, o objeto fica cada vez menos visível (porque a radiação observável é reduzida a freqüências abaixo do espectro visível). Finalmente, mesmo se fosse possível ver de fora o trânsito do objeto pelo horizonte de eventos (que não pode ser visto, em qualquer quantidade finita de tempo), esse objeto desapareceria completamente ao cruzar o horizonte, porque qualquer luz emitida seria capturada junto com o seu emissor. Seja o que for que caia dentro do horizonte de eventos, estará excluído para sempre do mundo exterior. Parece que essa falta de comunicação é uma rua de mão única: um observador de fora pode enviar sinais para o buraco negro, mas nenhuma resposta seria recebida.

Por esses motivos os buracos negros encontrados em Jornada nas Estrelas tendem a produzir resultados impossíveis. O fato de o horizonte de eventos não ser um objeto tangível, mas sim um referencial matemático que impomos à nossa descrição de um buraco negro para delinear a região interna da externa, significa que o horizonte não pode ter "fissuras" como aquela encontrada pela tripulação da *Voyager* ao escapar miraculosamente do interior de um buraco negro. (Na realidade, essa noção é tão absurda que foi incluída na minha lista de 10 maiores erros encontrados em Jornada nas Estrelas, apresentados no último capítulo.) E as "formas de vida em singularidades quânticas", encontradas pela tripulação da *Enterprise* quando viajaram para o passado e para o futuro junto com uma nave de guerra romulana, têm um berço estranho para suas crianças: aparentemente, elas as colocam em buracos negros naturais (quando incorretamente tomam por singularidades quânticas "artificiais" o

motor da nave romulana). Esse pode ser um berçário seguro, mas depois será difícil retirar as crianças dele. Lembramos que nada que esteja dentro de um buraco negro pode se comunicar com algo de fora.

Os únicos buracos negros do universo sobre os quais temos provas hoje são resultantes do colapso de estrelas com muito mais massa do que o Sol. Esses objetos são tão densos que uma colher de chá de sua matéria conteria várias toneladas. Entretanto, uma outra notável propriedade dos buracos negros é que, quanto mais massa possuem, menos densos precisam ser ao se formar. Por exemplo, a densidade de um buraco negro formado pelo colapso de um objeto cuja massa é 100 milhões de vezes a do nosso Sol precisa ter densidade igual à da água. Um objeto de massa maior entrará em colapso para formar um buraco negro em um ponto no qual sua densidade é ainda menor. Se continuarmos a extrapolar, descobriremos que a densidade necessária para formar um buraco negro com uma massa igual à do universo observável seria praticamente a mesma densidade média da matéria do universo! Nós podemos estar vivendo dentro de um buraco negro.

Em 1974, Stephen Hawking fez uma notável descoberta sobre a natureza dos buracos negros. Eles não são completamente negros! Em vez disso, emitem radiação em uma temperatura característica que depende de sua massa. Se a natureza da radiação não nos dá informação alguma sobre o que caiu dentro dele, a própria idéia de emissão de radiação por um buraco negro era por si só surpreendente e parecia violar diversos teoremas — alguns dos quais Hawking mesmo havia provado anteriormente — segundo os quais a matéria só poderia entrar no buraco negro, mas nunca sair dele. Isso permanece verdadeiro, exceto pela fonte da radiação, que não é matéria normal. Em vez disso, ela é espaço vazio, que pode se comportar de forma bastante estranha, especialmente nas vizinhanças de um buraco negro.

Desde que as leis da mecânica quântica foram tornadas consistentes com a teoria especial da relatividade, logo depois da Segunda Guerra Mundial, soubemos que o espaço vazio não é tão vazio assim. Na verdade é um mar fervente, borbulhando de flutuações quânticas. Essas flutuações periodicamente cospem pares de partículas elementares, que existem durante intervalos de tempo tão curtos que não podem ser medidos diretamente, e então desaparecem

no vácuo do qual surgiram. O princípio da incerteza da mecânica quântica nos afirma que não há maneira de sondar o espaço durante um período de tempo tão curto, portanto é impossível controlar a breve existência destas assim chamadas partículas virtuais. Mas apesar de não poderem ser medidas diretamente, sua presença afeta certos processos físicos que *podemos* medir, como a taxa e a energia de transições entre certos níveis de energia nos átomos. O efeito previsto das partículas virtuais coincide com as observações tanto quanto qualquer previsão conhecida pela Física.

Isso nos devolve aos notáveis resultados obtidos por Hawking acerca dos buracos negros. Em circunstâncias normais, quando uma flutuação quântica cria um par virtual de partículas, este par se aniquila e retorna ao vácuo em um tempo tão curto que a violação da lei de conservação de energia (causada pela criação do par a partir do nada) não é observável. Entretanto, quando um par virtual de partículas surge no espaço curvo, perto de um buraco negro, uma das partículas pode cair nele e a outra pode escapar e ser observada. Tal fato ocorre porque a partícula que caiu no buraco negro, em princípio, pode perder mais energia nesse processo do que a necessária para criá-la a partir do nada. Assim, ela contribui com "energia negativa" para o buraco negro, e a própria energia do buraco negro portanto decresce. Isso satisfaz a contabilidade da lei da conservação de energia, compensando a energia observável da partícula que escapou. É assim que o buraco negro emite radiação. Além disso, conforme a energia do buraco negro decresce pouco a pouco, existe uma redução concomitante de sua massa. Eventualmente, ele pode evaporar-se completamente, deixando para trás apenas a radiação produzida durante sua existência.

Hawking e muitos outros foram além da consideração das flutuações quânticas da matéria com o espaço curvo como pano de fundo para chegar a algo ainda mais exótico e menos bem definido. Se a mecânica quântica se aplica não apenas à matéria e radiação, mas também à gravidade, então, em escalas suficientemente pequenas, as flutuações quânticas no próprio espaço-tempo precisam ocorrer. Infelizmente, não possuímos uma teoria adequada para lidar com esses processos, mas isso não impediu diversas tentativas de investigações

teóricas sobre o fenômeno. Uma das especulações mais interessantes é que os processos da mecânica quântica podem permitir a criação espontânea, não apenas de partículas, mas de universos completamente novos. O formalismo da mecânica quântica que descreve como isso pode ocorrer é, pelo menos matematicamente, muito similar às soluções de buraco de minhoca descobertas pela relatividade geral. Através desses buracos de minhoca "euclidianos", uma "ponte" temporária é criada, por intermédio da qual surge um novo universo. As possibilidades de processos de buracos de minhoca euclidianos e de universos "bebês" são tão excitantes que as flutuações quânticas foram mencionadas durante o jogo de pôquer de Hawking com Einstein e Newton no episódio "Descent" ("Linhagem") de *The Next Generation (A Nova Geração)**. Se os roteiristas de Jornada nas Estrelas se confundiram, eles tinham esse direito. Essas questões infelizmente ainda são muito misteriosas. Até descobrirmos o quadro matemático apropriado para tratar esses processos da gravidade quântica, todas as discussões serão tiros no escuro.

* OKUDA, Michael, OKUDA, Denise, MIRAK, Debbie. *The Star Trek Encyclopedia.* New York: Pocket Books, 1994.

Mais relevante para nós aqui não é o fenômeno da evaporação do buraco negro, ou mesmo os universos bebês, por mais interessantes que sejam, mas sim a descoberta de que as flutuações quânticas no espaço vazio podem, pelo menos na presença de fortes campos gravitacionais, tornarem-se dotadas de propriedades que lembram aquelas necessárias para manter um buraco de minhoca aberto. A questão central, que também ainda não tem resposta definitiva, é se as flutuações quânticas perto de um buraco de minhoca podem se tornar suficientemente singulares para mantê-lo aberto.

(Aliás, uma vez mais, considero os roteiristas de Jornada nas Estrelas notavelmente prescientes em sua escolha de nomenclatura. Diz-se que os buracos de minhoca bajorano e de Barzan envolvem campos "verteron". Não sei se esse nome foi "chutado" ou não. Entretanto, uma vez que as partículas virtuais — as flutuações quânticas em espaço que de outra forma estaria — vazio atualmente são as melhores candidatas à "matéria exótica" de Kip Thorne, acho que os roteiristas de Jornada nas Estrelas merecem crédito por sua

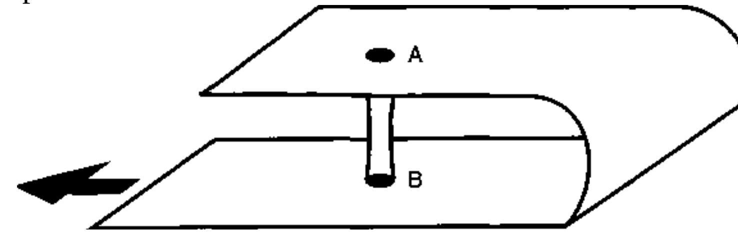
intuição, se é que se trata realmente disso.)

De maneira mais genérica, se as flutuações quânticas no vácuo podem ser exóticas, é possível que alguma outra configuração neoclássica de matéria e radiação — como, por exemplo, a ruptura de um núcleo de dobra, ou talvez o desequilíbrio "intermix" do fator de dobra de Scott — também possa sê-lo. Essas questões permanecem sem resposta. Se, por um lado, elas de forma alguma contornam a incrível implausibilidade de buracos de minhoca estáveis no universo real, deixam em aberto uma questão mais ampla: viajar através de um buraco de minhoca é impossível ou meramente quase impossível? A questão do buraco de minhoca não é apenas a da ciência de fato *versus* ficção científica: ela é uma chave que pode abrir portas que muitos prefeririam manter fechadas.

AS MÁQUINAS DO TEMPO REVISITADAS Os buracos de minhoca, como toda a glória de abrir túneis através de vastas distâncias no espaço, têm um potencial ainda mais notável mencionado recentemente no episódio "Eye of the Needle" ("O Buraco da Agulha") da *Voyager*. Nele a tripulação descobriu um pequeno buraco de minhoca que levava até seu próprio "quadrante alfa" da galáxia. Depois de se comunicar através dele, descobriram com horror que este conduzia não ao quadrante alfa que conheciam e amavam, mas sim ao quadrante alfa de uma geração anterior. As duas pontas do buraco ligavam o espaço em tempos diferentes!

Esse é mais um caso no qual os roteiristas da *Voyager* saíram-se bem. Se buracos de minhoca existem, eles podem ser e serão máquinas do tempo! Essa surpreendente descoberta tomou forma durante a última década, à medida que diversos teóricos, por falta de algo mais interessante para fazer, começaram a investigar a Física nos buracos de minhoca um pouco mais a sério. Essas máquinas do tempo são fáceis de projetar: talvez o exemplo mais simples (de novo graças a Kip Thorne) seja imaginar um buraco com uma das aberturas fixa e a outra movendo-se a uma velocidade subluz através de alguma região remota da galáxia. Isso, em princípio, é possível *mesmo se* o comprimento do buraco permanecer inalterado. No desenho bidimensional anterior do buraco de minhoca, basta arrastar a folha

para a esquerda, deixando o espaço "deslizar" sob a abertura inferior do buraco de minhoca, mantendo esta abertura inferior fixa em relação à superior.



Como a abertura inferior irá mover-se relativamente ao espaço no qual se situa, enquanto a abertura superior permanecerá imóvel, a relatividade especial nos diz que os relógios baterão em intervalos diferentes em cada uma delas. Por outro lado, se o comprimento do buraco permanecer fixo, então, enquanto se estiver dentro dele, as duas pontas parecerão imóveis uma em relação à outra. Nessas condições, relógios em ambas as pontas deveriam coincidir. Agora, deslize a folha do fundo de volta para onde costumava estar, para que a abertura inferior do buraco de minhoca retorne a seu lugar original com relação ao espaço no qual se insere. Digamos que esse processo leve um dia, tal como observado por alguém que esteja perto da abertura inferior. Mas para um observador que esteja perto da abertura superior, esse mesmo processo pode parecer demorar dez dias. Se esse segundo observador olhasse através do buraco para o observador localizado na abertura inferior, veria no seu calendário de parede que a data é de nove dias antes! Se decidisse atravessar o buraco para visitar o outro lado, viajaria para trás no tempo.

Se existem buracos de minhoca estáveis, precisamos admitir que as máquinas do tempo são possíveis. Retornaremos agora às observações de Einstein feitas no capítulo anterior. As viagens no tempo e, assim, os buracos de minhoca estáveis e, portanto, a matéria exótica com energia negativa podem ser "excluídos com base na Física"?

Afinal de contas, buracos de minhoca são meramente um exemplo de máquina do tempo proposto no contexto da relatividade geral. Dada nossa prévia discussão sobre a natureza da teoria, talvez não seja tão surpreendente que as viagens no tempo se tornem uma

possibilidade. Recordemos a descrição heurística das equações de Einstein feitas anteriormente:

Lado esquerdo = Lado direito
{CURVATURA} {MATÉRIA E ENERGIA}

O lado esquerdo dessa equação fixa a geometria do espaço-tempo. O lado direito fixa a matéria e a distribuição de energia. Geralmente perguntaríamos: para uma dada distribuição de matéria e energia, qual será a curva do espaço resultante? Mas também podemos trabalhar inversamente: para qualquer geometria espacial dada, incluindo uma com "curvas temporais fechadas" — isto é, "ciclos de causalidade", que permitem retornar ao ponto de partida no espaço e tempo, como o ciclo no qual a *Enterprise* foi apanhada antes, durante e depois de colidir com a *Bozeman* —, as equações de Einstein determinam a exata distribuição de matéria e energia que deve estar presente. Portanto, em princípio, pode-se projetar qualquer tipo de universo de viagens espaciais que se queira, pois as equações de Einstein determinarão a exata distribuição de matéria e energia que for necessária. A pergunta-chave então será: essa distribuição de matéria e energia é fisicamente possível?

Já vimos como essa questão surge no contexto dos buracos de minhoca. Buracos de minhoca estáveis requerem matéria exótica com energia negativa. A solução máquina do tempo de Kurt Gödel na relatividade geral envolve um universo com densidade de energia constante e uniforme e pressão zero, que gira, mas não se expande. Mais recentemente, uma máquina do tempo proposta envolvendo "cordas cósmicas" *(cosmic strings)* requeria uma configuração de energia negativa. De fato, foi recentemente provado que qualquer configuração de matéria na relatividade geral que permita as viagens no tempo precisa recorrer a tipos exóticos de matéria com energia negativa, tal como é vista por pelo menos um observador.

É interessante que quase todos os episódios de Jornada nas Estrelas envolvendo viagens no tempo ou distorções temporais também implicam alguma catastrófica liberação de energia, usualmente associada a uma ruptura do núcleo de dobra *(warp core)*.

Por exemplo, o ciclo de causalidade temporal no qual a *Enterprise* foi apanhada aconteceu somente depois (apesar de os conceitos de "antes" e "depois" perderem o sentido num tal ciclo) de uma colisão com a *Bozeman*, que provocou a ruptura do núcleo de dobra e causou a destruição da *Enterprise*, em uma série de eventos que ficou se repetindo sucessivamente até que em um ciclo finalmente a tripulação conseguiu evitar a colisão. O congelamento momentâneo do tempo a bordo da *Enterprise*, descoberto por Picard, Data, Troy e LaForge no episódio "Timescape" ("Fuga do Tempo"), também parece ter sido produzido por uma ruptura do núcleo de dobra combinada com a avaria do núcleo do motor a bordo de uma nave romulana próxima. Em "Time Squared" ("Tempo ao Quadrado"), um vasto "vórtice de energia" impeliu Picard para trás no tempo. No exemplo original de uma viagem no tempo em Jornada nas Estrelas, "The Naked Time" ("A Hora Nua"), a *Enterprise* foi atirada para trás três dias após uma implosão do núcleo de dobra. A gigantesca distorção temporal no episódio final de *A Nova Geração*, que retrocede no tempo e ameaça abarcar o universo inteiro, foi causada pela explosão simultânea de três diferentes versões temporais da *Enterprise*, que convergiram para o mesmo ponto no espaço.

Portanto, viajar no tempo no universo real, assim como no universo de Jornada nas Estrelas, parece se ater à possibilidade de configurações exóticas da matéria. Uma civilização alienígena suficientemente avançada poderia construir um buraco de minhoca estável? Ou podemos caracterizar *todas* as distribuições de massa que podem levar às viagens no tempo e então excluí-las, em conjunto, "com base na Física", como Einstein poderia querer? Até o presente momento, não conhecemos a resposta. Algumas máquinas do tempo específicas — como a de Gödel e o sistema de cordas cósmicas — demonstraram não ser viáveis em termos físicos. Mas se as viagens no tempo através de buracos de minhoca ainda estão por ser definitivamente excluídas, investigações preliminares sugerem que as próprias flutuações gravitacionais quânticas podem causar a autodestruição de buracos de minhoca antes de poderem nos conduzir às viagens no tempo.

Até que tenhamos uma teoria gravitacional quântica, a resolução

final da questão das viagens no tempo deverá permanecer em aberto. Não obstante diversos indivíduos de valor, incluindo Stephen Hawking, já deram uma mãozinha. Hawking está convencido de que as máquinas do tempo são impossíveis devido aos óbvios paradoxos que resultariam, e propôs uma "conjectura de proteção cronológica" para demonstrar que: "As leis da Física não permitem o aparecimento de curvas temporais fechadas".

Estou pessoalmente inclinado a concordar com ele nesse caso. Contudo, a Física não se faz por decreto. Como afirmamos anteriormente, a relatividade geral com freqüência ultrapassa nossas ingênuas expectativas. Como advertência, forneceremos dois precedentes históricos. Em duas situações anteriores (que eu saiba), eminentes teóricos argumentaram que a proposição de um fenômeno na relatividade geral deveria ser deixada de lado porque as leis da Física a proibiriam:

1. Quando o jovem astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar propôs que os núcleos estelares com massa maior do que 1,4 vez a massa do Sol não poderiam, depois de queimar todo o seu combustível nuclear, transformar-se em estrelas anãs brancas, mas sim continuariam em seu colapso devido à gravidade, o eminente físico Sir Arthur Eddington rejeitou o resultado publicamente, afirmando: "Diversos acidentes podem ocorrer para salvar a estrela, mas quero mais proteção do que isso. Penso que deveria haver uma lei da natureza para impedir uma estrela de se comportar desta forma absurda!". Na época, boa parte da comunidade de astrofísicos ficou ao lado de Eddington. Meio século depois, Chandrasekhar, recebeu o Nobel por sua teoria, que há muito foi verificada.

2. Pouco mais de 20 anos depois de Eddington ter rejeitado a teoria de Chandrasekhar, um acontecimento surpreendentemente similar ocorreu em uma conferência em Bruxelas. J. Robert Oppenheimer, o famoso físico teórico americano e pai da bomba atômica, havia calculado que objetos chamados estrelas de nêutrons — remanescentes de supernovas e até mesmo mais densos que estrelas anãs brancas — não poderiam ser maiores do que duas vezes a massa do Sol sem subseqüentemente entrar em colapso para formar o que

hoje chamamos de buraco negro. O igualmente famoso John Archibald Wheeler argumentou que esse resultado era impossível, exatamente pela mesma razão alegada por Eddington ao rejeitar a teoria de Chandrasekhar: de alguma forma, as leis da Física deveriam proteger os objetos de um destino tão absurdo. Uma década depois, Wheeler capitularia completamente e, por ironia, seria reconhecido como o homem que deu aos buracos negros seu nome.

4 DATA ACABA O JOGO

Pois espiei o futuro, tanto quanto o olho humano pode ver, Vi a Visão do mundo, e toda a maravilha que seria.

De "Locksley Hall", por Alfred Lord Tennyson (afixado a bordo da nave estelar Voyager)

Se o futuro de Jornada nas Estrelas pode ou não incluir um buraco de minhoca estável, e se a tripulação da *Enterprise* pode ou não voltar no tempo à São Francisco do século XIX, as questões reais desse jogo de pôquer cósmico derivam de uma das perguntas que nos levaram a discutir o espaço-tempo em primeiro lugar: a velocidade de dobra *(warp)* é possível? Pois, com exceção da improvável possibilidade de que nossa galáxia esteja cheia de buracos de minhoca estáveis, fica bastante claro a partir de nossas discussões anteriores que, sem alguma coisa como ela, a maioria da galáxia permanecerá para sempre fora de nosso alcance. Finalmente, chegou a hora de abordar essa questão vergonhosa. A resposta é um sonoro "Talvez"!

Uma vez mais somos orientados pela perspicácia lingüística dos roteiristas de Jornada nas Estrelas. Já descrevemos como nenhum mecanismo de propulsão à reação (como o de um foguete) jamais conseguirá superar os três obstáculos estabelecidos pela relatividade especial: primeiro, nada pode viajar mais rapidamente do que a luz no espaço vazio. Segundo, objetos viajando a velocidades próximas da velocidade da luz terão seus relógios atrasados. Terceiro, mesmo que um motor à reação pudesse acelerar uma nave espacial a uma velocidade próxima à velocidade da luz, a quantidade de combustível seria proibitiva.

A idéia é não usar qualquer espécie de foguete para propulsão, mas sim o próprio espaço-tempo, dobrando-o. A relatividade geral requer que sejamos um pouco mais precisos em nossas afirmações sobre movimento. Em vez de dizer que nada pode viajar mais rapidamente

do que a luz, é preciso dizer que nada pode viajar mais rapidamente do que a luz *localmente*. Isso significa que nada pode viajar mais rapidamente do que a luz em *relação a marcos de referência locais*. Entretanto, se o espaço-tempo é curvo, esses marcos de referência locais não precisam ser globais.

Tomemos o próprio universo como exemplo. A relatividade especial nos diz que observadores em repouso em relação ao mesmo referencial terão relógios batendo com a mesma freqüência. Portanto, à medida que nos movemos pelo universo, podemos parar e colocar relógios a intervalos regulares no espaço e esperar que todos eles mantenham a mesma taxa de variação de tempo. A relatividade geral não muda isso. Todos os relógios que estejam em repouso em relação ao mesmo referencial marcarão a mesma hora. Entretanto, a relatividade geral permite a expansão do espaço-tempo. Objetos em lados opostos do universo observável separam-se uns dos outros quase à velocidade da luz, ainda que permaneçam em repouso em relação às suas redondezas. De fato, se o universo se expande uniformemente e é grande o suficiente, o que em ambos os casos parece ser verdade, existem objetos que ainda não podemos ver e que neste exato momento se movem em sentido oposto ao nosso a uma velocidade maior do que a da luz, apesar de as civilizações desses confins do universo poderem estar em repouso em relação às suas redondezas.

Portanto, a curvatura do espaço produz uma espécie de válvula de escape para os argumentos da relatividade especial — uma válvula grande o bastante para deixar passar uma nave da Federação. Se o próprio espaço-tempo pode ser manipulado, objetos conseguirão viajar localmente a velocidades muito reduzidas, ainda que uma correspondente contração ou expansão do espaço pudesse permitir que distâncias enormes fossem percorridas em curtos intervalos de tempo. Já vimos como uma manipulação extrema, recortando partes distantes do universo e reunindo-as com um buraco de minhoca, poderia criar atalhos através do espaço-tempo. O argumento aqui é que, mesmo sem recorrermos a esse tipo de cirurgia, viajar mais rapidamente que a luz pode ser possível de forma geral, ainda que localmente não o seja.

Em princípio, uma prova dessa idéia foi recentemente desenvolvida por um físico de Gales, Miguel Alcubierre, que por

prazer resolveu explorar a possibilidade de derivar da relatividade geral uma solução consistente que corresponderia à "velocidade de dobra". Ele conseguiu demonstrar que é possível conceber uma configuração de espaço-tempo na qual uma nave espacial pudesse viajar entre dois pontos em um período de tempo arbitrariamente curto. Além disso, durante a viagem, a nave poderia estar se movendo em relação a seu referencial local a velocidades muito menores do que a da luz, de maneira que os relógios a bordo permanecessem sincronizados com os de seus locais de origem e destino. Parece que a relatividade geral nos permite não apenas cortar nosso queijo como também comê-lo.

A idéia é inovadora. Se o espaço-tempo pode ser dobrado localmente de maneira tal que se expanda atrás de uma nave e se contraia adiante dela, então a nave será impulsionada junto com o espaço que a contém, assim como uma prancha de surf sobre uma onda. Localmente, a nave nunca viajará mais depressa do que a luz, porque a luz também será impulsionada junto com a onda de espaço em expansão.

Uma maneira de visualizar o que acontece é imaginar-se a bordo da nave. Se o espaço subitamente se expandir por detrás de você em uma escala grande o bastante, você perceberá que a base estelar que deixou há poucos minutos agora está a muitos anos-luz de distância. Da mesma forma, se o espaço se contrai adiante de você, será possível perceber que a base em direção à qual você viaja, que estava a alguns anos-luz de distância, agora está tão próxima que poderia ser alcançada em minutos à velocidade de propulsão normal.

Também é possível, nessa solução, arranjar a geometria do espaço-tempo de maneira tal que os imensos campos gravitacionais necessários para essa expansão e contração do espaço nunca sejam grandes perto da nave ou das bases. Nas vizinhanças da nave e bases, o espaço pode ser quase plano, portanto os relógios de bordo permaneceriam sincronizados. Em algum lugar entre a nave e as bases, as forças gravitacionais seriam imensas, mas não há problemas, desde que não estejamos lá.

Esse cenário deveria ser o pretendido pelos roteiristas de Jornada nas Estrelas quando inventaram a velocidade de dobra, mesmo que

não se pareça muito com suas descrições técnicas. Ele preenche todos os requisitos mencionados anteriormente para uma viagem controlada pelo espaço intergaláctico: (1) a viagem a velocidades mais rápidas do que a da luz, (2) nenhuma dilatação temporal, e (3) não é preciso recorrer à propulsão por motores à reação. Claro, tratamos até agora de uma questão muito importante. Ao tornar o espaço-tempo dinâmico, a relatividade geral permite a criação de "espaços-tempos construídos", nos quais quase todos os tipos de movimento no espaço e no tempo são possíveis. Entretanto, o preço é que a teoria relaciona esses espaços-tempos a alguma distribuição de matéria e energia subjacente. Logo, para que o espaço-tempo desejado seja "físico" a distribuição de matéria e energia subjacente precisa ser possível. Em breve, retornaremos a essa questão.

Mas primeiro pensemos que a maravilha desse "espaço-tempo construído" é que ele nos permite retornar ao desafio original de Newton e criar neutralizadores de inércia e raios tratores. A idéia é idêntica à da velocidade de dobra. Se o espaço em torno da nave pode ser dobrado, então os objetos podem se mover para longe ou perto sem experimentar nenhuma sensação de aceleração local que, como lembramos, era a praga que assolava o raciocínio newtoniano. Para evitar as incríveis acelerações necessárias para se obter velocidades de propulsão subluz, é preciso recorrer aos mesmos absurdos de espaço-tempo que são necessários para se viajar a velocidades de dobra. A distinção entre velocidade de propulsão e velocidade de dobra fica portanto reduzida. Da mesma forma, para usar um raio trator para puxar um objeto pesado como um planeta, basta expandir o espaço do outro lado do planeta e contraí-lo deste lado. Simples!

Também existem outras vantagens em se dobrar o espaço. Fica claro que se o espaço-tempo for fortemente curvado adiante da *Enterprise*, então qualquer raio de luz — ou *phasers* — será deflexionado para longe da nave. Sem dúvida, esse também é o princípio dos escudos defletores. De fato, somos informados de que os escudos defletores operam por "emissão coerente de gravitons". Uma vez que, por definição, os gravitons são partículas que transmitem a força da gravidade, então "emissão coerente de gravitons" nada mais é do que a criação de um campo gravitacional coerente. Em termos

modernos, um campo gravitacional coerente é precisamente aquilo que curva o espaço! Portanto, uma vez mais, os roteiristas de Jornada nas Estrelas acertaram, pelo menos na terminologia.

Imagino que o dispositivo de camuflagem dos romulanos opere da mesma maneira. De fato, *a Enterprise,* com seus escudos defletores levantados, deveria estar bastante perto de ser uma *Enterprise* camuflada. Afinal, o motivo pelo qual enxergamos algo que não tem luz própria é que esse objeto reflete a luz, que em seguida viaja em nossa direção. A camuflagem de alguma forma dobra o espaço de maneira tal que os raios incidentes passam em volta da nave em vez de serem refletidos por ela. A distinção entre essa camuflagem e a deflexão de raios feita pela *Enterprise* é portanto muito sutil. Com relação a isso, uma pergunta que intrigou muitos *trekkers* até o episódio "The Pegasus" ("O Pégaso") de *A Nova Geração* foi: Por que a Federação não emprega a tecnologia da camuflagem? Certamente pareceria, tendo em vista o exposto acima, que qualquer civilização que pudesse desenvolver escudos defletores poderia desenvolver também um dispositivo de camuflagem. E conforme ficamos sabendo em "The Pegasus", o desenvolvimento de um dispositivo de camuflagem da Federação foi limitado mais por tratados do que por tecnologias. (De fato, como ficou evidente no episódio "Ali Good Things..." ("Todas as Coisas Boas..."), o último de *A Nova Geração*, a Federação parece que acabou permitindo a camuflagem nas naves estelares.)

Finalmente, dado esse quadro relativístico-geral da velocidade de dobra, esta assume um significado um pouco mais concreto. A velocidade de dobra pode ser correlacionada ao fator de expansão ou contração do volume espacial adiante ou atrás de uma nave. As convenções da dobra espacial nunca foram particularmente estáveis: entre a primeira e a segunda séries, Gene Roddenberry aparentemente decidiu que as velocidades de dobra deveriam ser recalibradas para que nunca se excedesse à dobra 10. Isso significava que as velocidades de dobra não poderiam ser uma simples escala logarítmica, na qual a dobra 10 seria, digamos, $2^{10} = 1024$ x velocidade da luz. Segundo o *Next Generation Technical Manual (Manual Técnico da Nova Geração)*, a dobra 9.6, que é a mais elevada

velocidade normal para a *Enterprise-D*, é 1909 x velocidade da luz*, enquanto a dobra 10 é infinita. E interessante notar que, apesar dessa recalibragem, periodicamente avistam-se objetos (tais como cubos Borg) viajando à dobra 10, portanto penso que não devemos nos preocupar indevidamente com a compreensão de detalhes.

* N.R.F.C.: A *Voyager* alcança até a dobra 9.975.

Bem, isso dá conta das boas notícias...

Depois de fazer com que a velocidade de dobra seja considerada como uma não-impossibilidade (pelo menos em princípio), finalmente temos de enfrentar as conseqüências do outro lado das equações de Einstein, ou seja, a distribuição de matéria e energia necessária para produzir a curvatura do espaço-tempo. E veja só, a situação é quase *pior* do que era no caso dos buracos de minhoca. Observadores viajando a altas velocidades através de um buraco de minhoca podem medir uma energia negativa. Para o tipo de matéria necessária para se produzir uma velocidade de dobra, mesmo um observador em repouso com relação à nave, isto é, alguém a bordo dela, medirá uma energia negativa.

Esse resultado não surpreende. De alguma maneira, as exóticas soluções da relatividade geral necessárias para manter abertos buracos de minhoca, para permitir viagens no tempo e tornar possíveis as velocidades de dobra, sempre implicam que, em alguma escala, a matéria precise gravitacionalmente repelir outra matéria. Há um teorema na relatividade geral que estabelece essa condição como geralmente equivalente à necessidade de que a energia de outra matéria seja negativa para alguns observadores.

Surpreendente é o fato mencionado anteriormente de que a mecânica quântica, quando combinada com a relatividade especial, implica que, pelo menos em escalas microscópicas, a distribuição local de energia pode ser negativa. De fato, como notamos no Capítulo 3, as flutuações quânticas freqüentemente têm essa propriedade. A questão-chave que permanece sem resposta até hoje é se as leis da Física, tais como as conhecemos, permitirão que a matéria tenha essa propriedade em escalas macroscópicas. Certamente, é verdade que atualmente não temos a menor idéia de como poderíamos criar essa matéria com métodos fisicamente realistas.

Entretanto, vamos ignorar por um momento os possíveis obstáculos à criação dessa matéria e supor que algum dia seja possível criar matéria exótica utilizando alguma sofisticada engenharia quântica da matéria ou do espaço vazio. Mesmo assim, os requisitos de energia para efetivar qualquer uma das notáveis brincadeiras com o espaço-tempo descritas aqui fariam as necessidades de energia para acelerar até as velocidades de impulso parecerem ridículas. Consideremos a massa do Sol, que é cerca de um milhão de vezes a da Terra. O campo gravitacional na superfície do Sol é suficiente para dobrar a luz em menos de 1/1000 de grau. Imagine então a intensidade do campo gravitacional que teria de ser gerado perto de uma espaçonave para deflexionar em 90 graus um feixe de *phaser* vindo em sua direção! (Essa é uma das diversas razões pelas quais o famoso "efeito estilingue" — usado pela primeira vez no clássico episódio "Tomorrow is Yesterday" ("Amanhã é Ontem") para impulsionar a *Enterprise* de volta no tempo, e novamente *em Star Trek IV: The Voyage Home (Jornada nas Estrelas IV: A Volta para Casa)*, e também mencionado no episódio "Time Squared" ("Tempo ao Quadrado") de *A Nova Geração* — é impossível. O campo gravitacional na superfície do Sol é minúsculo comparado ao necessário para perturbar o espaço-tempo da forma que mencionamos aqui.) Uma maneira de estimar quanta energia seria preciso gerar é imaginarmos a produção de um buraco negro do tamanho da *Enterprise*, uma vez que certamente um buraco negro desse tamanho produziria um campo gravitacional capaz de dobrar significativamente qualquer raio de luz que passasse por perto. A massa desse buraco negro seria cerca de 10% da massa do Sol. Expresso em unidades de energia, seria preciso mais do que toda a energia produzida pelo Sol durante toda a sua existência para gerar um buraco negro desse tamanho.

Então, como ficamos ao final deste jogo? Sabemos o suficiente a respeito da natureza do espaço-tempo para descrever explicitamente como seria possível, pelo menos em princípio, utilizar o espaço curvo para obter diversos efeitos essenciais para as viagens interestelares *à Ia* Jornada nas Estrelas. Sabemos que, sem essas possibilidades exóticas, provavelmente nunca viajaremos através da galáxia. Por

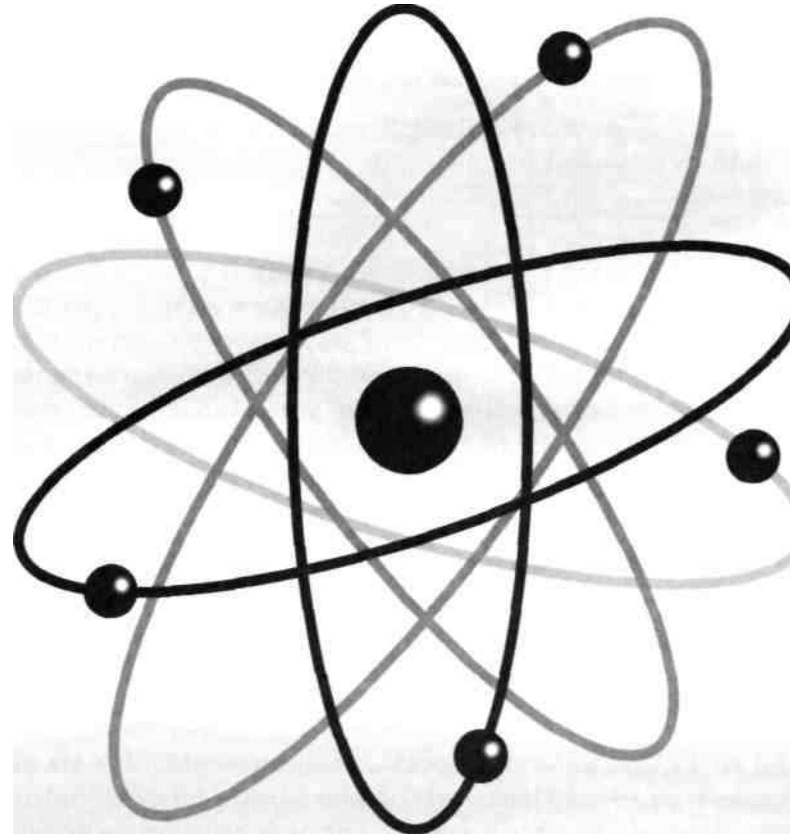
outro lado, não sabemos se as *condições físicas* necessárias para realizar qualquer um desses feitos são possíveis na prática, ou mesmo em princípio apenas. Finalmente, mesmo se fossem, é claro que qualquer civilização que pusesse esses princípios em prática precisaria dominar energias imensamente maiores do que tudo o que podemos imaginar hoje.

Suponho que possamos admitir, de maneira otimista, que essas maravilhas realmente notáveis pelo menos não são impossíveis *a priori*. Elas apenas se apóiam em uma possibilidade remota: a capacidade de criar e sustentar matéria e energia exóticas. Há motivos para esperanças, mas preciso admitir que permaneço cético. Como meu colega Stephen Hawking, acredito que os paradoxos envolvidos em uma viagem de ida e volta no tempo excluem essa possibilidade em qualquer teoria física consistente. Dado que as condições de matéria e energia necessárias para a velocidade de dobra e os escudos defletores serem as mesmas, também não as prevejo — apesar de já ter errado antes.

Não obstante, ainda sou otimista. O que para mim realmente vale a pena comemorar é o notável corpo de conhecimentos que nos trouxe a este fascinante limiar. Vivemos em um remoto cantinho de uma das 100 bilhões de galáxias do universo observável e, assim como insetos em uma folha de borracha, vivemos em um universo cuja forma real escapa à observação direta. Ainda assim, no curso de menos de 20 gerações — desde Newton até hoje —, utilizamos as simples leis da Física para iluminar as profundezas do espaço e do tempo. É possível que nunca subamos a bordo de naves em direção às estrelas, mas mesmo aprisionados neste pequeno planeta azul, pudemos penetrar o céu noturno e revelar notáveis maravilhas, e certamente outras estão por vir. Se a Física não pode nos dar o que precisamos para passear pela galáxia, ela está nos dando o que precisamos para trazer a galáxia até nós.

Parte 2 - MATÉRIA. MATÉRIA POR TODA PARTE

Na qual o leitor explora o teletransporte, as dobras, os cristais de dilítio, os motores matéria-antimatéria e o holodeck.



5 ÁTOMOS OU BITS

"Reg, o teletransporte realmente é a maneira mais segura de viajar."

Geordi LaForge para o tenente Reginald Barclay, em Realm of Fear ("O Reino do Medo")

Ávida imita a arte. Ultimamente, tenho ouvido sempre a mesma pergunta: "Átomos ou bits — em qual deles está o futuro?". Há 30 anos, Gene Roddenberry lidou com essa mesma especulação, motivado por outro imperativo. Ele tinha um lindo desenho de espaçonave, mas com um pequeno problema: como um pingüim na água, a *Enterprise* podia deslizar suavemente pelas profundezas do espaço, mas como um pingüim no chão, ela certamente teria problemas com os pés se tentasse pousar. E talvez, ainda mais importante, o magro orçamento de um programa semanal de TV excluísse o pouso de uma imensa espaçonave uma vez por semana.

Então, como resolver esse problema? Simples: certificando-se de que a nave nunca teria de pousar. Encontre algum outro meio de transportar a tripulação da nave para a superfície do planeta. E antes de você poder dizer "Leve-me para cima", o teletransporte nasceu.

Com exceção da velocidade de dobra, talvez nenhuma outra tecnologia dê um colorido tão especial a cada missão das espaçonaves da Federação. E mesmo aqueles que nunca assistiram a um episódio de Jornada nas Estrelas, reconhecem a frase mágica citada acima. Ela impregnou nossa cultura popular. Recentemente ouvi falar de um jovem que, dirigindo embriagado, atravessou um sinal vermelho e bateu em um carro de polícia que passava pelo cruzamento. Durante o julgamento, foi-lhe perguntado se tinha algo a dizer. Em desespero, ele respondeu: "Sim, meritíssimo". Levantou-se, tirou do bolso a carteira e, abrindo-a, murmurou: "Leve-me para cima, Scotty!".

Provavelmente, a história é apócrifa, mas é um testemunho do impacto que essa tecnologia hipotética tem exercido sobre nossa cultura — um impacto tanto mais notável se considerarmos que

nenhuma tecnologia de ficção científica a bordo da *Enterprise é* tão acintosamente implausível. Para criar esse dispositivo, teriam de ser resolvidos mais problemas práticos e conceituais do que se imagina. Os desafios envolvem todo um espectro de Física e Matemática, incluindo teoria da informação, mecânica quântica, a relação einsteiniana entre massa e energia, física das partículas elementares, e mais.

O que nos traz ao debate do átomo *versus* bits. A questão-chave do teletransporte é a seguinte: diante da tarefa de mover, da nave para a superfície do planeta, cerca de 10^{28} (1 seguido de 28 zeros) átomos de matéria combinados em padrões complexos que compõem um ser humano, qual seria a maneira mais rápida e eficiente de fazê-lo? Essa é uma questão bastante atual, pois estamos diante do mesmo dilema quando consideramos como disseminar da melhor forma possível o complexo padrão de 10^{26} átomos em um livro médio. Um conceito potencialmente revolucionário, ou pelo menos assim é afirmado pelos gurus da mídia digital, é o de que os átomos em si são secundários. O que realmente importa são os bits.

Considere, por exemplo, um livro de biblioteca. A biblioteca compra um exemplar — ou, para alguns autores sortudos, diversos exemplares — de um livro, que é guardado e emprestado aos leitores, um de cada vez. Mas em uma biblioteca digital, essa mesma informação pode ser armazenada como bits. Um bit é 1 ou 0, que é combinado em grupos de oito, chamados bytes, para representar palavras ou números. Essa informação é armazenada na memória magnética dos computadores, na qual cada bit é uma região magnetizada (1) ou não (0). Agora, um número arbitrariamente grande de usuários pode acessar o mesmo local de memória do computador praticamente ao mesmo tempo. Portanto, em uma biblioteca digital, cada habitante da Terra que teria de comprar um livro agora pode lê-lo a partir de uma fonte única. Fica claro que, neste caso, ter os átomos que constituem o livro à nossa disposição é menos significativo, e certamente menos eficiente, do que armazenar os bits (apesar do prejuízo para o autor em termos de direitos autorais).

Mas, e quanto às pessoas? Se vamos movê-las por aí, teremos de mover seus átomos ou apenas sua informação? A princípio, pode-se

pensar que mover a informação é muito mais fácil, pois ela pode se movimentar à velocidade da luz. Entretanto, no caso das pessoas, temos dois problemas que não ocorrem com livros: primeiro, é preciso extrair a informação, o que não é fácil, para então recombiná-la com a matéria. Afinal as pessoas, ao contrário dos livros, necessitam de átomos.

Os roteiristas de Jornada nas Estrelas parecem nunca ter esclarecido o que querem que o teletransporte faça. Ele envia os átomos e os bits ou apenas os bits? Pode-se perguntar por que levanto esse ponto, já que o *Next Generation Technical Manual (Manual Técnico da Nova Geração)* descreve o processo em detalhes: primeiro, o teletransporte trava no alvo; depois, esquadrinha a imagem a ser transportada, "desmaterializa-a" e armazena-a em um "buffer de padrões" por um tempo, para então transmitir o "fluxo de matéria" em um "raio de confinamento anular" até seu destino. Aparentemente, o teletransporte envia a matéria junto com a informação.

O único problema com esse quadro é que ele é inconsistente com o que o teletransporte às vezes faz. Em pelo menos duas ocasiões bem conhecidas o teletransporte começou com uma pessoa e acabou com duas. No famoso episódio "The Enemy Within" ("O Inimigo Interior"), um defeito no teletransporte dividiu Kirk em duas versões dele mesmo, uma boa e outra má. Em uma reviravolta mais interessante e permanente ocorrida no episódio "Second Chances" ("Segunda Chance") de A *Nova Geração*, descobrimos que o tenente Riker havia sido dividido em duas cópias durante o transporte do planeta Nervala IV para o *Potemkin*. Uma versão retornou em segurança para o *Potemkin* e a outra foi refletida de volta para o planeta, onde viveu sozinha durante oito anos.

Se o teletransporte leva tanto o fluxo de matéria quanto os sinais de informação, o fenômeno de divisão é impossível. O número de átomos ao final do processo tem de ser o mesmo do início. Não existe modo de replicar pessoas dessa forma. Por outro lado, se apenas a informação fosse transportada poderíamos imaginá-la sendo combinada com átomos armazenados a bordo e fabricando tantas cópias de um indivíduo quanto se desejasse.

Enfrentamos um problema parecido em relação ao fluxo de

matéria ao considerarmos o que acontece com objetos lançados no espaço como "energia pura". Por exemplo, no episódio "Lonely among Us" ("Solitário entre Nós") *de A Nova Geração,* Picard escolhe ser transportado como energia pura, livre dos constrangimentos da matéria. Depois que isso se transforma em uma experiência decepcionante e perigosa, ele consegue ser recuperado e sua forma corpórea é restabelecida a partir do buffer de padrões. Mas se o fluxo de matéria tivesse sido enviado para o espaço, não haveria nada para recuperar.

Portanto, apesar do manual de Jornada nas Estrelas, quero assumir um ponto de vista agnóstico e explorar a miríade de problemas e desafios associados a cada possibilidade: o transporte de átomos ou de bits.

QUANDO UM CORPO NÃO TEM CORPO: Talvez a questão mais fascinante sobre o teletransporte — uma que em geral nem é abordada — seja: do que é feito o ser humano? Somos meramente a soma de todos os nossos átomos? Mais precisamente, se eu tivesse de recriar todos os átomos do corpo exatamente no mesmo estado de excitação química no qual ele está neste momento, será que conseguiria produzir uma pessoa funcionalmente idêntica, com exatamente a mesma memória, esperanças, sonhos, espírito? Há bons motivos para esperar que isso aconteça, mas é preciso lembrar que isso afronta grande parte da crença espiritual sobre a existência de uma "alma" que de alguma forma é distinta do corpo. Afinal, o que acontece quando morremos? Não é verdade que muitas religiões afirmam que a "alma" sobrevive ao corpo? O que então aconteceria com ela durante o processo de teletransporte? Nesse sentido, o teletransporte seria uma maravilhosa experiência espiritual. Se uma pessoa fosse teletransportada para a *Enterprise* e permanecesse intacta e sem apresentar mudanças observáveis, isso forneceria provas dramáticas de que o ser humano não é mais do que a soma de suas partes, e a demonstração iria diretamente contra muitas crenças espirituais.

Por motivos óbvios, essa questão é cuidadosamente evitada em Jornada nas Estrelas. Entretanto, apesar da natureza puramente física

do processo de desmaterialização e transporte, a noção de que alguma nebulosa "força de vida" existe para além dos confins do corpo é um tema constante da série. O argumento inteiro do segundo e terceiro filmes da série feitos para cinema, *The Wrath of Khan (A Ira de Khan)* e *The Search of Spock (A Procura de Spock),* — é o fato de que Spock tem, pelo menos, um "katra" um espírito vivo — que pode existir à parte do corpo. Mais recentemente, no episódio "Cathexis" da série *Voyager*, a "energia neural" — uma espécie de força vital — de Chakotay é removida e vaga pela nave de pessoa em pessoa em um esforço para voltar "para casa".

Penso que uma alternativa exclui a outra. Ou a "alma", ou o "katra", ou a "força vital", ou seja qual for o nome, é parte do corpo e não somos mais do que nosso ser material, ou não é. Em um esforço para não ofender as sensibilidades religiosas, até mesmo as de um vulcano, permanecerei neutro nesse debate. Não obstante, penso que vale a pena mencionar, antes de prosseguirmos, que mesmo a premissa básica do teletransporte — que os átomos e os bits são tudo o que importa — não deve ser tomada levianamente.

O PROBLEMA COM OS BITS: Muitos dos problemas que discutiremos a seguir poderiam ser evitados se desistíssemos de transportar os átomos junto com a informação. Afinal, qualquer um com acesso à Internet sabe como é fácil transportar um fluxo de dados contendo, digamos, os planos detalhados de um novo carro junto com fotos. Fazer com que o carro real se mova, entretanto, não é assim tão fácil. Não obstante, dois formidáveis problemas surgem mesmo quando transportamos apenas bits. O primeiro é o dilema enfrentado, por exemplo, pelos últimos a ver Jimmy Hoffa vivo: como vamos nos livrar do corpo? Se apenas a informação deve ser transportada, então os átomos no ponto de origem precisam ser dispensados e um novo conjunto tem de ser recolhido no ponto de destino. Esse é um problema bastante grave. Se precisamos transmitir 10^{28} átomos, temos um grande desafio pela frente. Digamos, por exemplo, que precisamos simplesmente transformar essa matéria em energia pura. Quanta energia teríamos? Bem, a fórmula de Einstein E — mc^2 nos dá o resultado. Se transformássemos 50 kg (um adulto leve) de matéria em

energia, desencadearíamos a energia equivalente a pouco mais de mil bombas de hidrogênio de 1 megaton. É difícil imaginar como fazer isso de uma maneira não agressiva ao ambiente.

Há, claro, um outro problema com esse procedimento. Se fosse possível, então fazer uma réplica de pessoas seria fácil. De fato, seria muito mais trivial do que teletransportá-las, uma vez que a destruição do original não seria mais necessária. Fazer réplicas de objetos inanimados dessa forma é algo com que podemos conviver, e de fato a tripulação das espaçonaves parece adaptada a isso. Entretanto, fazer uma réplica de seres humanos vivos seria certamente a causa de problemas *(à Ia* Riker em "Second Chances"). De fato, se a pesquisa de recombinação de DNA atual levantou uma série de questões éticas, nossa mente ficaria aturdida com aquelas levantadas se indivíduos completos, incluindo memória e personalidade, pudessem ser copiados à vontade. As pessoas seriam como programas de computador, ou rascunhos de um livro, armazenados em um disquete. Se um deles fosse danificado ou contivesse um vírus, bastaria chamar o backup.

ESTÁ BEM, FIQUE COM OS ÁTOMOS: Os argumentos acima sugerem que tanto no aspecto prático quanto no ético pode ser melhor imaginar um teletransporte que leve o fluxo de matéria junto com o sinal, como afirmam que o teletransporte de Jornada nas Estrelas faz. O problema então é: como mover os átomos? Novamente, o desafio é energético, apesar de estar sob uma forma um pouco mais sutil.

O que seria necessário para "desmaterializar" algo no teletransporte? Para responder isso, temos de considerar com um pouco mais de cuidado a simples questão: o que é matéria? Toda matéria normal é composta de átomos, que por sua vez são formados de um núcleo central muito denso cercado por uma nuvem de elétrons. Recordando as aulas de Física e Química do colégio, a maior parte do volume de um átomo é espaço vazio. A região ocupada pelos elétrons das últimas camadas é cerca de dez mil vezes maior do que a região ocupada pelo núcleo.

Por que, se os átomos são espaço vazio em sua maior parte, a matéria não passa através de outra matéria? Porque o que faz com que

uma parede seja sólida não é a existência de partículas, mas sim os campos elétricos entre elas. Minha mão não pode atravessar minha escrivaninha devido à repulsão elétrica sofrida pelos elétrons dos átomos de minha mão, em razão da presença dos elétrons dos átomos da escrivaninha, e não devido à falta de espaço disponível para os elétrons se moverem uns através dos outros.

Esses campos elétricos não somente formam a matéria corpórea, impedindo objetos de atravessarem outros, mas também mantêm a matéria unida. Para alterar essa situação normal, é preciso portanto superar as forças elétricas entre os átomos. Isso requer trabalho, portanto energia. De fato, é assim que as reações químicas funcionam. A configuração de um conjunto individual de átomos e sua interligação são alteradas por meio da troca de energia. Por exemplo, se injetarmos energia em uma mistura de nitrato de amônia e óleo combustível, as moléculas dos dois materiais podem se rearranjar e, nesse processo, a "energia de ligação" que mantém os materiais originais unidos pode ser liberada. Essa liberação, se for suficientemente rápida, causará uma grande explosão.

Entretanto, a energia de ligação entre os átomos é minúscula, se comparada à energia de ligação das partículas — prótons e nêutrons — que formam o núcleo incrivelmente denso dos átomos. A força que mantém unidas essas partículas em um núcleo resulta em energias de ligação que são milhões de vezes mais fortes do que as energias atômicas de ligação. As reações nucleares, portanto, liberam significativamente mais energia do que as reações químicas. Eis por que as armas nucleares são tão poderosas.

Finalmente, a energia de ligação que mantém unidas as partículas elementares, chamadas quarks, de que os próprios prótons e nêutrons são compostos, é ainda maior do que aquela que une os prótons e nêutrons no núcleo. De fato, acredita-se — baseado em todos os cálculos que podemos fazer com a teoria de interação dos quarks — que seria preciso uma quantidade infinita de energia para separar completamente os quarks que compõem cada próton e nêutron.

Baseado nesse argumento poderíamos esperar que quebrar completamente a matéria em quarks, seus componentes fundamentais, seria algo impossível — e é, pelo menos à temperatura ambiente.

Entretanto, a mesma teoria que descreve as interações dos quarks nos prótons e nêutrons nos diz que se aquecêssemos o núcleo a cerca de 1 trilhão de graus (aproximadamente 1 milhão de vezes mais quente do que a temperatura no centro do Sol), então não apenas os quarks perderiam sua energia de ligação, mas, a essa temperatura, a matéria perderia repentinamente quase toda a sua massa. A matéria iria transformar-se em radiação — ou, na linguagem de nosso teletransporte, a matéria iria desmaterializar-se.

Portanto, para superar a energia de ligação da matéria em seu nível mais fundamental (de fato, no nível ao qual o manual de Jornada nas Estrelas se refere), basta aquecê-la a 1 trilhão de graus. Em unidades de energia, isso implica prover cerca de 10% da massa restante de prótons e nêutrons em forma de calor. Sendo assim, para aquecer uma amostra de matéria do tamanho de um ser humano a essa temperatura, seria preciso cerca de 10% da energia necessária para aniquilar esse material — ou a energia equivalente a 100 bombas de hidrogênio de 1 megaton.

Pode-se sugerir, dado esse requisito assustador, que o cenário descrito acima é um desperdício. Talvez não tenhamos de quebrar a matéria até o nível do quark. Talvez uma desmaterialização em nível dos prótons e nêutrons, ou mesmo em nível atômico, seja suficiente para os propósitos do teletransporte. Certamente os requisitos de energia nesse caso seriam muito menores, mesmo se formidáveis. Infelizmente, esconder esse problema debaixo do tapete expõe um outro ainda mais difícil. Pois, uma vez que temos o fluxo de matéria composto por elétrons, prótons e nêutrons, ou talvez até por átomos inteiros, é preciso transportá-lo presumivelmente a uma fração significativa da velocidade da luz.

Mas para fazer com que partículas como prótons e nêutrons se movam a velocidades próximas da luz é preciso dar-lhes uma quantidade de energia comparável à energia de sua massa em repouso. Isso acaba sendo dez vezes mais do que a quantidade de energia necessária para aquecer e "dissolver" os prótons em quarks. Não obstante, apesar de mais energia por partícula ser necessária para acelerar os prótons a velocidades próximas a da luz, isso ainda seria mais fácil de realizar do que depositar e armazenar energia suficiente

dentro dos prótons durante tempo bastante para aquecê-los e dissolvê-los em quarks. Por isso é que hoje podemos construir, ainda que a um custo enorme, gigantescos aceleradores de partículas — como o Tevatron do Fermilab, em Batavia, Illinois — que podem acelerar prótons individuais a mais de 99,9% da velocidade da luz. Mas ainda não conseguimos construir um acelerador que consiga bombardear os prótons com energia suficiente para "derretê-los" em seus quarks constituintes. De fato, esse é um dos objetivos dos físicos que trabalham no projeto da próxima geração de grandes aceleradores — incluindo um dispositivo que está sendo construído no Brookhaven National Laboratory, em Long Island — para realmente conseguir esse "derretimento" da matéria.

E novamente me impressiono com a correção da escolha de terminologia feita pelos roteiristas de Jornada nas Estrelas. O derretimento de prótons em quarks é o que se chama em Física de uma transição de fase. E, acredite, se olharmos o *Next Generation Technical Manual (Manual Técnico da Nova Geração)* à procura do nome do instrumento teletransporte que desmaterializa a matéria, veremos que ele se chama "bobina de transição de fase".

Portanto, os futuros projetistas de teletransportes terão uma escolha. Ou acham uma fonte de energia que produza temporariamente uma energia 10 mil vezes maior do que o total de energia consumida hoje na Terra, caso no qual teríamos um "fluxo de matéria" capaz de se mover junto com as informações a uma velocidade próxima da luz, ou reduzem a necessidade total de energia em 10 vezes e descobrem uma forma de aquecer o ser humano instantaneamente a uma temperatura 1 milhão de vezes mais alta do que a do centro do Sol.

SE ESTA É A SUPER-RODOVIA, É MELHOR PEGARMOS A PISTA EXPRESSA:

Ao escrever este livro em meu microcomputador, fico maravilhado com velocidade de desenvolvimento desta tecnologia desde o meu primeiro Macintosh, há pouco mais de dez anos. Lembro-me de que a memória daquela máquina era de 128 kilobytes, contra os 16 megabytes de minha máquina atual e os 128 megabytes da rápida estação de trabalho do escritório do Departamento de Física da Case

Western Reserve. Portanto, em uma década, a capacidade de memória de minha máquina foi multiplicada por 1.000! Esse aumento foi acompanhado pelo aumento na capacidade do disco rígido. Minha primeira máquina não tinha disco rígido algum e era preciso trabalhar com disquetes com a 400 Kb de capacidade. Minha máquina atual tem um disco rígido de 500 Mb, novamente uma multiplicação por 1.000 na capacidade de armazenagem de dados. A velocidade de meu sistema doméstico também aumentou muito na última década. Para fazer cálculos numéricos detalhados, acho que minha máquina atual é quase cem vezes mais rápida do que meu primeiro Macintosh. Minha estação de trabalho do escritório é ainda mais rápida, realizando cerca de meio bilhão de instruções por segundo!

Mesmo na vanguarda da tecnologia, a melhoria tem sido impressionante. Os computadores mais rápidos usados para tarefas gerais tiveram sua capacidade de memória e velocidade multiplicadas por 100 na última década, e não estou me referindo às máquinas construídas especialmente para certos trabalhos, cuja velocidade de processamento pode exceder a dezenas de bilhões de instruções por segundo. Já foi demonstrado que, em princípio, certos dispositivos para propósitos especiais precisam ser construídos utilizando-se sistemas biológicos, baseados em DNA, que poderiam ser imensamente mais rápidos.

Ficamos imaginando aonde tudo isso nos leva, e se podemos projetar esse rápido crescimento para o futuro. Outra questão válida é a de se precisamos manter esse ritmo. Chego a pensar que quem determina a velocidade da superestrada é o usuário; este é o limite da informação que podemos assimilar. Tente navegar pela Internet durante algumas horas, se quiser um exemplo gráfico disso. Com freqüência pergunto por que, com esse incrível poder à minha disposição, minha própria produtividade não aumentou tanto quanto a da minha máquina. Acho que a resposta é clara. Não sou limitado pela capacidade de minha máquina, mas sim por minhas próprias capacidades. Já foi dito que, por esse motivo, os computadores poderiam ser a próxima fase da evolução humana. Certamente é verdade que Data, mesmo sem emoções, é em diversos aspectos muito superior a seus colegas tripulantes. E conforme ficou provado em *The*

Measure of a Man (A Medida de um Homem), ele é uma genuína forma de vida.

Mas estou me desviando do assunto. A finalidade de observar o crescimento da capacidade dos computadores na última década é considerar como ela se compara com o que precisaríamos ter para satisfazer as necessidades de armazenamento e recuperação de dados com relação ao teletransporte. Claro, ela não chega nem perto.

Façamos uma estimativa simples da quantidade de informações codificadas num corpo humano. Tomemos nossa estimativa padrão de 10^{28} átomos. Para cada átomo, precisamos codificar em primeiro lugar sua localização, o que requer três coordenadas (as posições: x, y e z.) Em seguida, teríamos de registrar o estado interno de cada átomo, o que incluiria, por exemplo, o nível de energia ocupado por seus elétrons; se este átomo está ligado a um outro, formando uma molécula; se esta molécula está vibrando ou girando; e assim por diante. Sejamos conservadores e suponhamos que podemos codificar todas as informações relevantes em um kilobyte de dados. (Essa é aproximadamente a quantidade de informação de uma página escrita em espaço duplo.) Isso significa que precisaríamos de cerca de 10^{28} kilobytes para armazenar um padrão humano no buffer de memória. Lembre-se de que isso significa 1 seguido por 28 zeros.

Comparemos isso com, digamos, o total de informações registradas em todos os livros já escritos. As maiores bibliotecas contêm diversos milhões de volumes. Portanto, sejamos generosos e digamos que existe um bilhão de livros (um para cada cinco pessoas vivas no planeta). Digamos, também, que cada livro contém o equivalente a mil páginas datilografadas de informação (ainda sendo generosos), ou cerca de 1 megabyte. Então, todas as informações de todos os livros já escritos precisariam de 10^{12}, ou cerca de um bilhão, de kilobytes de capacidade de memória. Isso é cerca de dezesseis ordens de magnitude — ou cerca de um décimo milionésimo de bilionésimo —, menor do que a capacidade de armazenamento necessária para conter um único padrão humano! Com números tão grandes fica difícil compreender a enormidade da tarefa. Talvez uma comparação ajude. A capacidade de armazenamento necessária para gravar um padrão humano é dez mil vezes maior do que as

informações de todos os livros já escritos, ou a capacidade de armazenamento necessária para gravar um padrão humano está para as informações de todos os livros já escritos assim como estas estão para as informações desta página.

Armazenar tanta informação é, como os físicos costumam dizer, não-trivial. Atualmente, os discos rígidos de maior capacidade podem armazenar 10 gigabytes, ou 10 mil megabytes. Se cada disco tivesse 10 cm de espessura, e empilhássemos todos os discos necessários para gravar um padrão humano, a pilha chegaria a um terço do caminho até o centro da galáxia — ou cerca de 10 mil anos-luz, 5 anos de viagem na *Enterprise* em dobra 9!

Recuperar essas informações em tempo real é um desafio equivalente. Os mecanismos digitais de transferência mais rápidos atualmente podem mover pouco menos de 100 megabytes por segundo. A essa velocidade, levaria cerca de 2 mil vezes a idade atual do universo (tomando uma idade aproximada de 10 bilhões de anos) para gravar os dados de um padrão humano em uma fita! Imagine então a tensão dramática: Kirk e McCoy escaparam para a superfície da colônia penal em Rura Penthe. Não temos nem a idade do universo para teletransportá-los de volta, mas poucos segundos para transferir trilhões de trilhões de megabytes de informação antes que o carcereiro dispare sua arma.

A questão é clara. Essa tarefa sobrepuja o atual Projeto Genoma Humano, cujo propósito é mapear em sua totalidade o código genético humano contido nas espirais do DNA. Esse é um esforço multibilionário iniciado há uma década pelo menos, que movimenta recursos de diversos laboratórios pelo mundo inteiro. Pode-se imaginar que estou mencionando isso apenas para acrescentar algo à lista de coisas implausíveis do teletransporte. Entretanto, se o desafio é grande, penso que essa é uma área que pode chegar ao século XXIII. Meu otimismo advém apenas da projeção do atual crescimento da tecnologia de informática. Com nossa previsão anterior de crescimento da capacidade de armazenamento e velocidade de processamento a um fator de 100 por década, e dividindo-a por 10 para sermos conservadores —, e dado que estamos 21 potências de 10 aquém da marca atualmente —, pode-se esperar que daqui a 210 anos,

na aurora do século XXIII, tenhamos uma tecnologia de informática capaz de atender aos requisitos de transferência de informação do teletransporte.

Claro, afirmo isso sem ter idéia alguma de como ocorrerá. Certamente, para poder armazenar mais de 10^{25} kilobytes de informação em um dispositivo com escala humana, todo e cada um desses átomos terá de ser explorado como uma posição de memória. O emergente conceito de computador biológico, no qual a dinâmica molecular reproduz os processos lógicos digitais e as 10^{25} partículas de uma amostra macroscópica agem todas simultaneamente, parece-me dos mais promissores a esse respeito.

Também é preciso advertir: não sou um cientista da informática. Meu cauteloso otimismo pode, portanto, ser apenas um reflexo de minha ignorância. Entretanto, o exemplo do cérebro humano, que está a anos-luz adiante de qualquer sistema de computação existente em termos de complexidade e abrangência, reconforta-me. Se a seleção natural pode desenvolver um dispositivo tão refinado de armazenamento e recuperação de informações, acredito que ainda existe um longo caminho pela frente.

ESTA HISTÓRIA QUÂNTICA: E para acrescentar uma ducha de água fria de realismo, duas palavras: mecânica quântica. Em nível microscópico necessário para mapear e recriar a matéria no teletransporte, as leis da Física são governadas pelas estranhas e exóticas leis da mecânica quântica, segundo as quais as partículas podem se comportar como ondas e estas como partículas. Não pretendo dar um curso de mecânica quântica aqui. Entretanto, a base é a seguinte: em escalas microscópicas, o que está sendo observado e o observador não podem ser separados. Tomar uma medida é alterar um sistema, em geral para sempre. Essa lei simples pode ser parametrizada de diversas maneiras, mas o mais famoso é o princípio da incerteza de Heisenberg. Essa lei fundamental — que parece pôr fim à Física determinista clássica, apesar de em nível fundamental não o fazer — divide o mundo da física em dois conjuntos de quantidades observáveis: o yin e o yang, se quisermos. Ela nos diz que, *independentemente de qualquer tecnologia que venha a ser inventada*

no futuro, é impossível medir certas combinações de observações com uma exatidão arbitrariamente alta. Em escala microscópica, pode-se medir a posição de uma partícula arbitrariamente bem. Mas Heisenberg nos diz que então não poderemos saber sua velocidade (e, portanto, não poderemos saber precisamente onde ela estará no próximo instante) com exatidão alguma. Ora, podemos determinar o estado de energia de um átomo com precisão arbitrária. Mas, nesse caso, não podemos determinar exatamente durante quanto tempo ele permanecerá nesse estado. A lista prossegue.

Essas relações estão no cerne da mecânica quântica, e nunca caducarão. Enquanto trabalharmos em escalas às quais a mecânica quântica se aplica — o que, até onde indicam as evidências, é pelo menos maior do que a escala na qual os efeitos gravitacionais quânticos tornam-se significativos, ou seja, cerca de 10^{-33} cm —, nós estaremos atrelados a ela.

Há um argumento levemente falho, mas muito satisfatório, que nos fornece uma certa compreensão heurística do princípio da incerteza. A mecânica quântica dá a todas as partículas um comportamento de onda, e estas possuem uma notável propriedade: elas são perturbadas apenas quando encontram objetos maiores do que o seu comprimento de onda (a distância entre duas cristas consecutivas). Basta observar as ondas do mar para verificar esse comportamento. Uma pedrinha aflorando à superfície não afetará o padrão da arrebentação, mas uma pedra maior deixará uma região de calmaria depois de ultrapassada pela onda.

Então, se quisermos "iluminar" um átomo — isto é, vê-lo através da luz refletida nele —, teremos de lançar sobre ele luz em um comprimento de onda pequeno o suficiente para que a onda seja perturbada por sua passagem. Mas as leis da mecânica quântica nos dizem que as ondas de luz vêm em pequenos pacotes, ou quanta, chamados fótons (como os "torpedos fotônicos" da nave, que na realidade não são feitos de fótons). Cada fóton de cada comprimento de onda possui uma energia inversamente proporcional a seu comprimento de onda. Quanto maior for a resolução desejada, menor terá de ser o comprimento de onda empregado. Mas quanto menor o comprimento de onda, maior será a energia dos pacotes. Se

bombardearmos um átomo com um fóton de alta energia para observá-lo, poderemos verificar exatamente onde o átomo estava quando o fóton o atingiu, mas o próprio processo de observação — isto é, bombardear o átomo com o fóton — claramente transferirá energia para o átomo, modificando assim sua velocidade e direção do movimento.

Portanto, é impossível resolver átomos e suas configurações de energia com a exatidão necessária para recriar um padrão humano com perfeição. A incerteza residual em algumas observações é inevitável. O significado disso para a exatidão do produto final depois do transporte é uma questão biológica detalhada sobre a qual só podemos especular.

Esse problema não escapou aos roteiristas de Jornada nas Estrelas, que estavam a par das inevitáveis restrições da mecânica quântica ao teletransporte. Mas de posse de algo que os físicos normalmente não podem utilizar — a licença poética —, eles introduziram os "compensadores de Heisenberg" que permitem a "resolução quântica" dos objetos. Quando em uma entrevista perguntaram ao consultor técnico de Jornada nas Estrelas, Michael Okuda, como os compensadores de Heisenberg trabalhavam, ele respondeu: "Muito bem, obrigado!".

Os compensadores de Heisenberg executam uma outra função muito útil. Pode-se imaginar, como eu imaginei, por que o teletransporte também não faz réplicas de formas de vida. Afinal, existem copiadoras a bordo de espaçonaves que fazem copos de água ou vinho aparecerem como mágica nos alojamentos de cada membro da tripulação a um simples comando de voz. Bem, parece que a tecnologia das copiadoras pode operar em "nível molecular de resolução" e não em "nível quântico de resolução". Isso deveria explicar por que não é possível fazer réplicas de seres humanos. Também pode explicar por que a tripulação continuamente se queixa de que a comida reproduzida não é exatamente igual à comida real, e por que Riker, entre outros, prefere cozinhar omeletes e outras iguarias à moda antiga.

VER É ACREDITAR: Um último desafio ao teletransporte, como

se fosse preciso mais algum. Transportar para baixo é difícil, mas transportar para cima pode ser ainda mais. Para transportar um membro da tripulação de volta à nave, os sensores a bordo da *Enterprise* precisam identificar a pessoa no planeta. E mais, eles precisam realizar a varredura do indivíduo antes da desmaterialização e do transporte do fluxo de matéria. Portanto, a *Enterprise* precisa de um telescópio poderoso o suficiente para a resolução atômica de objetos sobre, e às vezes sob, a superfície do planeta. Na verdade, fomos informados de que o alcance operacional normal do teletransporte é de aproximadamente 40 mil quilômetros, ou cerca de três vezes o diâmetro da Terra. Esse é o número que utilizaremos para a estimativa a seguir.

Todos já vimos fotos das cúpulas dos maiores telescópios do mundo, como a do telescópio Keck no Havaí (o maior do mundo) ou o de Monte Palomar na Califórnia. Mas já nos perguntamos por que telescópios cada vez maiores são construídos? (Não se trata de mania de grandeza de que muitos, inclusive membros do Congresso, gostam de acusar os cientistas.) Assim como aceleradores cada vez maiores são necessários se quisermos investigar a estrutura da matéria em escalas cada vez menores, telescópios maiores são necessários se quisermos observar objetos astronômicos cada vez mais distantes e menos luminosos. O motivo é simples: devido à natureza ondulada da luz, cada vez que ela passa por uma abertura, ela tende a difratar, ou se espalhar um pouquinho. Quando a luz emitida por um ponto muito distante atravessa as lentes do telescópio, a imagem se espalha um pouco, e tendemos a ver um pequeno disco de luz de contornos imperfeitos em vez de um ponto. E se dois pontos estiverem mais perto um do outro, na linha de visão, do que o tamanho de seus respectivos discos, será impossível resolvê-los como dois objetos separados, pois seus discos irão sobrepor-se na imagem observada. Os astrônomos chamam isso de "discos de visão". Quanto maior a lente, menor o disco de visão. Portanto, para observar objetos cada vez menores, os telescópios precisam de lentes cada vez maiores.

Há outro critério para estudar objetos com um telescópio. O comprimento de onda da luz, ou de qualquer outra radiação usada como sonda, precisa ser menor do que o tamanho do objeto que

tentamos esquadrinhar, segundo o argumento exposto acima. Portanto, se quisermos observar a matéria em escala atômica, ou seja, em vários bilionésimos de centímetro, é preciso usar uma radiação cujo comprimento de onda seja menor do que isso. Se optarmos pela radiação eletromagnética, será preciso usar raios-X ou raios gama. E novamente teremos um problema, porque essa radiação é nociva à vida, portanto, a atmosfera de qualquer planeta classe M irá filtrá-la, assim como a nossa atmosfera a filtra. O teletransporte, portanto, terá de usar sondas não-eletromagnéticas, como a de neutrinos ou gravitons; os quais têm seus próprios problemas, mas já basta por enquanto.

De qualquer modo, podemos fazer cálculos, já que a *Enterprise* usa radiação com um comprimento de onda menor do que um bilionésimo de centímetro e faz a varredura de objetos a 40 mil quilômetros de distância com uma resolução de escala atômica. Ora, para fazer isso, a nave precisaria de um telescópio de aproximadamente 50 mil quilômetros de diâmetro! Se fosse um pouco menor, não haveria meio possível, nem mesmo em princípio apenas, de observar um único átomo. Penso ser justo afirmar que, se a *Enterprise-D é* uma grande mãe, ela não é uma mãe tão grande assim.

Como prometido, pensar sobre teletransportadores nos levou à mecânica quântica, física de partículas, ciência de computação, à relação entre massa e energia de Einstein e até mesmo à existência da alma humana. Portanto, não devemos nos desapontar tanto pela aparente impossibilidade de construir um dispositivo para executar as funções necessárias. Ou, para dizê-lo em termos menos negativos, construir um teletransportador exigiria que aquecêssemos a matéria a uma temperatura milhões de vezes maior do que a do centro do Sol, gastando mais energia em uma única máquina do que toda a energia usada atualmente pela humanidade; construir telescópios maiores do que a própria Terra, aperfeiçoar os computadores em fatores de trilhões de trilhões e evitar as leis da mecânica quântica. Não é à toa que o tenente Barclay morria de medo do teletransporte. Acho que até mesmo Gene Roddenberry, se tivesse de enfrentar esse desafio na vida real, preferiria arranjar uma nave que pudesse pousar.

6 O MÁXIMO PELO SEU DINHEIRO

Nada de irreal existe.

Primeira Lei da Metafísica de Kir-kin-tha
(fornada nas Estrelas IV: A Volta para Casa.)

Se você está dirigindo pela rodovia interestadual 88, saindo de Chicago em direção a oeste, a cerca de 45 quilômetros, perto de Aurora, a frenética malha urbana dá lugar às pradarias do meio-oeste, planas, estendendo-se para diante até perder de vista. Um pouco ao norte da rodovia fica um anel de terreno marcado pelo que parece ser um fosso circular. Dentro da propriedade pode-se ver búfalos pastando e muitas espécies de patos e gansos em diversos lagos.

Mas sete metros abaixo da superfície, o clima é bastante diferente dessa calma pastoril. Quatrocentas mil vezes por segundo, um intenso feixe de antiprótons atinge frontalmente um outro feixe de prótons, produzindo um leque de centenas de milhares de partículas secundárias: elétrons, positrons, píons e outras mais.

Esse é o Fermi National Accelerator Laboratory (EUA), ou Fermilab. Ele contém o maior acelerador de partículas do mundo, mas o mais importante para nossos propósitos é que ele também é o maior depósito de antiprótons. Aqui, a antimatéria não é coisa de ficção científica. É o "feijão-com-arroz" de milhares de cientistas e pesquisadores que utilizam as instalações do Fermilab.

É nesse sentido que o Fermilab e a *U.S.S. Enterprise* estão relacionados. A antimatéria é crucial para o funcionamento da nave: é ela que alimenta o motor de dobra. Como mencionamos anteriormente, não há maneira mais eficiente de alimentar um sistema de propulsão (apesar de o motor de dobra não ser na realidade baseado no princípio dos motores a reação, como os dos foguetes). Quando matéria e antimatéria entram em contato, podem se aniquilar completamente e produzir radiação pura, que viaja à velocidade da

luz.

Obviamente, muito trabalho é gasto para se certificar de que a antimatéria permaneça onde quer que ela seja armazenada. Quando o sistema de contensão de antimatéria a bordo de uma espaçonave falha, como o da *Enterprise* falhou depois da colisão com a *Bozeman*, ou quando o sistema de contensão da *Yamato* vazou devido à arma computadorizada iconiana, a subseqüente destruição total é inevitável. Na realidade, a armazenagem de antimatéria é tão fundamental para a operação de uma nave estelar que é difícil compreender por que a tenente-comandante da Federação Deanna Troi ignorava as implicações de um vazamento quando assumiu temporariamente o comando da *Enterprise* no episódio "Disaster" ("Desastre") de *A Nova Geração*, depois que a nave colidiu com dois "filamentos quânticos". O fato de ela ser treinada apenas como psicóloga nunca deveria ser uma desculpa!

O sistema de armazenagem de antimatéria a bordo de espaçonaves é plausível e de fato utiliza o mesmo princípio que permite ao Fermilab armazenar antiprótons durante longos períodos. Antiprótons e antielétrons (chamados de positrons) são partículas eletricamente carregadas. Na presença de um campo magnético, essas partículas se movem em órbitas circulares. Logo, se as partículas são aceleradas em campos elétricos e então um campo magnético de intensidade apropriada é aplicado, as antipartículas viajam em círculos de tamanhos predeterminados. Assim, por exemplo, elas poderão viajar em círculos dentro de um contêiner em forma de rosquinha sem nunca tocar as paredes. Esse princípio também é usado nos dispositivos chamados de Tokomak, a fim de armazenar plasmas de altas temperaturas para o estudo da fusão nuclear controlada.

A Fonte de Antiprótons do Fermilab contém um enorme anel de magnetos. Uma vez produzidos os antiprótons em colisões de média energia, eles são direcionados para esse anel, onde podem ser armazenados até serem requisitados para colisões de alta energia, que acontecem no Tevatron, o acelerador de alta energia do Fermilab. O Tevatron é um anel muito maior, com cerca de 6 quilômetros de circunferência. Os prótons são injetados no anel e acelerados em uma direção, e os antiprótons são acelerados na direção contrária. Se o

campo magnético for cuidadosamente ajustado, esses dois feixes de partículas podem ser mantidos separados pela maior parte do túnel. Em pontos específicos, entretanto, os dois feixes convergem e as colisões são estudadas.

Além da armazenagem, enfrentamos de imediato um outro problema, se quisermos usar um motor de matéria-antimatéria: onde conseguir a anti-matéria. Até onde sabemos, o universo é feito principalmente de matéria, não de antimatéria. Podemos confirmar isso examinando o conteúdo dos raios cósmicos de alta energia, muitos dos quais são originados fora de nossa galáxia. Algumas antipartículas deveriam ser criadas durante as colisões de raios cósmicos de alta energia com a matéria, e se explorarmos as assinaturas dos raios cósmicos em largos espectros de energia, veremos que o sinal da antimatéria é completamente consistente com apenas este fenômeno: não existem provas de um componente primordial de antimatéria.

Um outro possível sinal de antimatéria no universo seria a assinatura da aniquilação das colisões de partículas com antipartículas. Onde quer que ambas coexistam, pode-se esperar ver a radiação característica emitida durante o processo de aniquilação. De fato, foi exatamente assim que a *Enterprise* procurou a Entidade Cristalina depois que ela destruiu um posto avançado da Federação. Aparentemente, a Entidade deixou um rastro de antiprótons atrás de si. Procurando a radiação da aniquilação, a *Enterprise* perseguiu a Entidade e a capturou antes que ela destruísse outro planeta.

Mas se os roteiristas de Jornada nas Estrelas acertaram com essa idéia, eles erraram nos detalhes. O dr. Marr e Data procuram uma estreita faixa de "radiação gama" em "10 keV" — uma referência a 10 quilo-elétron volts, que é uma unidade de energia de radiação. Infelizmente, essa é a escala errada de energia para a aniquilação de prótons e antiprótons, e de fato não corresponde a um sinal de aniquilação conhecido. A mais leve partícula conhecida que possui massa é o elétron. Se elétrons e positrons se aniquilam, eles produzem uma estreita faixa de radiação gama a 5 11 keV, correspondente à massa do elétron. Prótons e antiprótons produziriam energia em uma faixa correspondente à energia de repouso do próton, cerca de 1 GeV

(Giga elétron volt) — ou cerca de cem mil vezes a energia procurada por Marr e Data. (Incidentalmente, 10 keV fica na faixa de radiação dos raios X, não na dos raios gama, que geralmente corresponde à radiação de mais de 100 keV. Mas esse talvez seja um detalhe pequeno demais para nos queixarmos.)

De qualquer modo, astrônomos e físicos procuraram sinais de fundo difusos perto da faixa de 5 11 keV e na de GeV, como sinais de conflagrações substanciais de matéria-antimatéria, mas nada foi encontrado. Esse fato e as investigações de raios cósmicos indicam que, mesmo se substanciais distribuições de antimatéria existissem no universo, elas não estariam misturadas com a matéria comum.

Como a maioria de nós se sente muito mais confortável com matéria do que com antimatéria, pode parecer muito natural que o universo seja feito da primeira e não da segunda. Entretanto, não existe nada de natural nisso. Na realidade, a origem da preponderância da matéria sobre a antimatéria é um dos mais interessantes problemas até hoje não resolvidos pela Física, e atualmente é objeto de intensa pesquisa. Essa preponderância é essencial para nossa existência, e, portanto, para a existência de Jornada nas Estrelas. Logo, parece-nos conveniente dar uma olhada nesse problema.

Quando a mecânica quântica foi desenvolvida, ela foi aplicada com sucesso a fenômenos de Física atômica; em particular, o comportamento dos elétrons nos átomos foi brilhantemente descrito. Mas ficou claro que uma das limitações desse campo de testes é a de que esses elétrons têm velocidades geralmente muito menores do que a velocidade da luz. Conciliar os efeitos da relatividade especial com a mecânica quântica permaneceu um problema insolúvel por quase duas décadas. Parte desse atraso ocorreu porque ao contrário da relatividade especial, cuja aplicação é bastante direta, a mecânica quântica demandava não apenas uma visão de mundo totalmente nova, mas um vasto conjunto de novas técnicas matemáticas. Nas primeiras três décadas deste século, as melhores mentes da Física estavam totalmente ocupadas com a exploração dessa nova e notável figura do universo.

Uma dessas mentes era a de Paul Adrien Maurice Dirac. Como seu sucessor Stephen Hawking, e mais tarde Data, ele um dia ocuparia a

cadeira Lucasiana de Professor de Matemática na Universidade de Cambridge. Educado por Lord Rutherford e mais tarde treinado por Niels Bohr, Dirac estava mais preparado do que a maioria para estender a mecânica quântica até os domínios do ultra-rápido. Como Einstein antes dele, em 1928, ele escreveu uma equação que mudaria o mundo. A equação de Dirac descreve corretamente o comportamento relativístico dos elétrons em termos totalmente quânticos.

Pouco depois de escrever essa equação, Dirac percebeu que, para manter consistência, a matemática requeria a existência na natureza de uma nova partícula, de massa equivalente, mas de carga oposta, ao elétron. Logicamente, essa partícula já era conhecida — o próton. Entretanto, a equação de Dirac sugeria que essa partícula deveria ter a mesma massa que o elétron, enquanto a massa do próton é quase duas mil vezes maior. Essa discrepância entre a observação e a interpretação "ingênua" da matemática permaneceu um mistério durante quatro anos, até que o físico americano Carl Anderson descobriu, entre os raios cósmicos que bombardeiam a Terra, uma nova partícula cuja massa era idêntica à do elétron, mas com carga oposta — isto é, positiva. Esse "antielétron" logo tornou-se conhecido como positron.

Desde então, ficou claro que uma das inevitáveis conseqüências da mistura da relatividade especial com a mecânica quântica é a de que todas as partículas na natureza precisam possuir antipartículas, cuja carga elétrica (se existir alguma) e diversas outras propriedades devem ser opostas às de suas partículas irmãs. Se todas as partículas possuem antipartículas, então é completamente arbitrário chamarmos umas de partículas e outras de antipartículas, já que nenhum processo físico estabelece a prevalência de umas sobre as outras. No mundo clássico do eletromagnetismo e da gravidade, não existem privilégios.

Mas agora estamos diante de um dilema. Se as partículas e antipartículas estão em pé de igualdade, por que a condição inicial do universo determinaria que aquelas que chamamos de partículas deveriam ser a forma predominante da matéria? Seguramente, uma condição inicial mais sensível, ou pelo menos mais simétrica, estabeleceria que no começo um número idêntico de partículas e

antipartículas existiria. Nesse caso, precisamos explicar como as leis da Física, que aparentemente não distinguem partículas de antipartículas, poderiam vir a produzir uma quantidade maior de uma do que da outra. Ou existe uma quantidade fundamental no universo — a proporção de partículas e antipartículas — que foi determinada no princípio do tempo e sobre a qual as leis da Física aparentemente não têm nada a dizer, ou precisamos explicar a paradoxal e dinâmica criação subseqüente de mais matéria do que de antimatéria.

Nos anos 60, o famoso cientista soviético e mais tarde dissidente Andrei Sakharov fez uma proposta modesta. Ele argumentou que seria possível, se três condições fossem preenchidas nas leis da Física durante o início do universo, gerar dinamicamente uma assimetria entre matéria e antimatéria, mesmo se não existisse assimetria inicial. Na época em que essa proposta foi feita, não existiam teorias físicas que satisfizessem as condições estipuladas por Sakharov. Entretanto, nos anos seguintes, a Física de partículas e a cosmologia fizeram grandes progressos. Agora, temos muitas teorias que em princípio podem explicar diretamente a diferença observada na quantidade de matéria e antimatéria presente na natureza. Infelizmente, todas elas requerem uma nova física e novas partículas elementares para funcionar. Até que a natureza nos conduza na direção certa, não saberemos qual delas escolher. Não obstante, muitos físicos — inclusive eu — encontram consolo na possibilidade de que algum dia possamos calcular exatamente por que existe matéria fundamental para nossas existências.

Mas se tivéssemos a teoria correta, qual número seria preciso explicar? Nos primórdios do universo, qual o número extra de prótons comparado com o de antiprótons teria sido preciso para explicar o excesso de matéria observado no universo atual? Uma pista para esse número é a comparação da atual abundância de prótons com a de fótons, as partículas elementares que compõem a luz. Se o universo inicial tivesse começado com um número igual de prótons e antiprótons, estes teriam se aniquilado, produzindo radiação — isto é, fótons. Cada aniquilação próton-antipróton no universo nascente produziria em média um par de fótons. Entretanto, supondo-se que houvesse um pequeno excesso de prótons sobre os antiprótons, então

nem todos os prótons teriam sido aniquilados. Ao contar o número de prótons restante depois de completadas as aniquilações, e comparando esse número com o número de fótons produzido por essas aniquilações (isto é, o número de fótons na radiação de fundo deixada pelo big bang), podemos fazer uma idéia da fração do excesso de matéria sobre antimatéria no universo inicial.

Sabemos que existe no universo atual aproximadamente um próton para cada 10 bilhões de fótons. Isso significa que o excesso original de prótons sobre os antiprótons era de apenas 7 *parte em 10 bilhões!* Isto é, para cada 10 bilhões de antiprótons no universo primordial, havia 10 bilhões e 1 prótons! Mesmo esse minúsculo excesso (acompanhado por um excesso similar de nêutrons e elétrons sobre suas respectivas antipartículas) teria sido suficiente para produzir toda a matéria observada no universo — as estrelas, galáxias, planetas — e tudo o que conhecemos e amamos.

É essa nossa explicação para o fato de que o universo acabou sendo constituído por matéria e não por antimatéria. A parte seu interesse intrínseco, a moral dessa história para Jornada nas Estrelas é que, se quisermos fazer um motor de matéria-antimatéria, não podemos colher antimatéria no espaço, porque não existe muita. Provavelmente será preciso fabricá-la.

Para descobrir como fazê-lo, retornamos ao búfalo pastando na planície do meio-oeste sobre o acelerador do Fermilab. Ao pensar na logística desse problema, decidi contatar o diretor do Fermilab, John Peoples Jr., que liderou o grupo que projetou e construiu sua Fonte Antipróton, e perguntar se ele poderia me ajudar a determinar quantos antiprótons poderíamos produzir e armazenar para cada dólar (em dólares de hoje). Ele graciosamente concordou em me ajudar, instruindo seus colaboradores a me fornecer as informações necessárias para fazer estimativas razoáveis.

O Fermilab produz antiprótons por meio de colisões de média energia de prótons com um alvo de lítio. Às vezes, essas colisões produzem um antipróton, que então é dirigido para o anel de armazenamento bem debaixo do búfalo. Quando opera com eficiência média, o Fermilab pode produzir cerca de 50 bilhões de antiprótons por hora desse modo. Supondo-se que a Fonte Antipróton esteja

operando 75% do tempo durante o ano, isso significa 6 mil horas de operação por ano, portanto o Fermilab produz cerca de 300 trilhões de antiprótons num ano médio.

O custo desses componentes do acelerador do Fermilab diretamente relacionados à produção de antiprótons é de cerca de US$500 milhões, em dólares de 1995. Amortizando isso durante uma suposta vida útil de 25 anos, teríamos US$20 milhões por ano. O custo operacional com pessoal (engenheiros, cientistas etc.) e maquinário é de cerca de US$8 milhões por ano. Em seguida, há o tremendo custo da eletricidade necessária para produzir o feixe de partículas e armazenar os antiprótons. Com as tarifas atuais do Estado de Illinois, isso chega a US$5 milhões por ano. Finalmente, os custos administrativos atingem os US$15 milhões por ano. O total é de US$48 milhões anuais para produzir 300 trilhões de antiprótons que o Fermilab utiliza anualmente para explorar a estrutura fundamental da matéria no universo. Isso redunda em 6 milhões de antiprótons por dólar!

Mas esse custo é maior do que precisaria ser. O Fermilab produz um feixe de antiprótons de alta energia e, se precisássemos apenas desses antiprótons sem essa alta energia, poderíamos reduzir o custo por um fator de 2 a 4. Então, sendo generosos, vamos supor que, com as tecnologias atuais, poderíamos obter de 10 a 20 milhões de antiprótons por dólar, no atacado.

A próxima pergunta é bastante óbvia: quanta energia por esse dólar? Se convertêssemos a massa total de um dólar de antiprótons em energia, liberaríamos aproximadamente 1/1000 de joule, que é a quantidade de energia necessária para aquecer 1/4 de grama de água a cerca de 1/1000 de grau Celsius. Isso não é motivo para orgulho.

Talvez uma maneira melhor de representar a capacidade da Fonte Antiprótons do Fermilab como o núcleo de um motor de dobra seja considerar a energia que pode ser gerada utilizando-se cada antipróton produzido pela Fonte em tempo real. A Fonte Antiprótons pode produzir 50 bilhões de antiprótons por hora. Se todos eles fossem convertidos em energia, isso resultaria em uma potência gerada de aproximadamente 1/1000 de watt! Em outras palavras, seriam necessários 100 mil Fontes Antiprótons do Fermilab para iluminar

uma simples lâmpada! Dado o custo total anual de US$48 milhões para operar a Fonte Antiprótons, atualmente custaria mais do que o orçamento anual do governo americano para iluminar sua sala de estar dessa maneira.

O problema central é que, nos termos de hoje, é preciso muito mais energia para produzir um antipróton do que se obteria convertendo sua massa em repouso em energia outra vez. A energia perdida durante o processo de produção provavelmente é um milhão de vezes maior do que a energia armazenada na massa de um antipróton. Seria preciso um meio muito mais eficaz de produzir antimatéria antes de podermos pensar em usar motores de matéria-antimatéria para nos levar às estrelas.

Também fica claro que, se a *Enterprise* tivesse de fazer sua própria antimatéria, seriam necessárias novas e vastas tecnologias de escala, não apenas para redução de custos, mas também para redução de espaço. Se as técnicas do acelerador fossem utilizadas, seriam necessárias máquinas que gerassem muito mais energia do que as atuais. Podemos acrescentar que, atualmente, esse é um objeto de intensas pesquisas aqui na Terra do final do século XX. Se os aceleradores de partículas, que são nossas únicas ferramentas para explorar diretamente a estrutura fundamental da matéria, não se tornarem muito caros mesmo para um consórcio internacional construí-los, novas tecnologias de aceleração de partículas elementares precisarão ser desenvolvidas. (Já vimos que o governo americano decidiu que é muito caro construir um acelerador de última geração nesse país, mas um grupo europeu construirá um em Genebra, para entrar em operação no início do próximo século.) As tendências do passado na eficiência da geração de energia por metro de acelerador sugerem que uma melhoria dez vezes maior pode ser possível a cada uma ou duas décadas. Portanto, talvez dentro de vários séculos, não seja absurdo imaginar um acelerador produtor de antimatéria que caberia em uma espaçonave. Dada a atual relutância dos governos em sustentar as caras pesquisas fundamentais nessa escala, pode-se não ser tão otimista, mas em dois séculos muitas mudanças políticas podem ocorrer.

Entretanto, mesmo se fizéssemos antimatéria a bordo de uma nave,

ainda teríamos de lidar com o fato de que a energia utilizada para produzir cada antipróton seria maior que a obtida com ele. Por que desejaríamos gastar essa energia na produção de antimatéria quando podemos dirigi-la diretamente para a propulsão?

Os roteiristas de Jornada nas Estrelas, sempre atentos, consideraram esse problema. Sua resposta foi simples. Enquanto a energia disponível sob outras formas poderia ser usada para propulsão por impulso, gerando velocidades subluz, somente as reações matéria-antimatéria poderiam ser usadas para alimentar o motor de dobra. E porque o motor de dobra pode tirar a nave de um perigo iminente muito mais efetivamente do que o motor por impulso, a energia extra despendida para produzir antimatéria pode bem valer a pena. Os roteiristas também evitaram os problemas da produção de antimatéria com base em aceleradores, inventando um novo método de produzir antimatéria. Eles propuseram "dispositivos reversores de carga quântica" que simplesmente inverteriam a carga das partículas elementares, para que se pudesse começar com prótons e nêutrons e terminar com antiprótons e antinêutrons. Segundo o *Next Generation Technical Manual (Manual Técnico da Nova Geração),* como esse processo é incrivelmente intenso energeticamente, há uma perda líquida de energia de apenas 24%, uma ordem de magnitude muito menor do que as descritas no uso dos aceleradores.

Se tudo isso é muito atraente, infelizmente a simples inversão da carga elétrica de um próton não basta. Suponhamos, por exemplo, que tanto os nêutrons quanto os antinêutrons sejam neutros. As antipartículas têm todos os seus "números quânticos" (rótulos descrevendo suas propriedades) opostos aos de seus pares de matéria. Uma vez que os quarks que compõem os prótons possuem muitos outros rótulos além do da carga elétrica, seria preciso muitos outros "dispositivos de reversão" para completar a transição de matéria para antimatéria.

De qualquer modo, o manual técnico nos diz que, exceto pela produção de antimatéria em emergências a bordo de naves estelares, toda a antimatéria da Frota Estelar é produzida nas instalações de combustíveis da Frota. Aqui, antiprótons e antinêutrons são combinados para formar o núcleo de hidrogênio antipesado.

Particularmente divertido é o fato de os engenheiros da Frota Estelar acrescentarem antielétrons (positrons) a esses núcleos eletricamente carregados para fabricar átomos de hidrogênio antipesados — neutros provavelmente porque, para os roteiristas de Jornada nas Estrelas, antiátomos neutros seriam mais fáceis de lidar do que antinúcleos eletricamente carregados. (Na realidade, nenhum antiátomo jamais foi criado em laboratório, apesar de recentes notícias de Harvard sugerirem que estamos no limiar da produção do átomo de anti-hidrogênio nesta década.) Infelizmente, isso levanta graves problemas de armazenagem, uma vez que os campos magnéticos, que são absolutamente essenciais para lidar com quantidades substanciais de antimatéria sem uma catástrofe, funcionam *apenas* para objetos eletricamente carregados! Bem, de volta à prancheta...

A capacidade total de antimatéria de uma nave estelar é de aproximadamente 3 mil m^3, armazenados em diversos cilindros de armazenamento (no convés 42 da *Enterprise-D.)* Afirma-se que isso é suficiente para uma missão de 3 anos. Apenas por diversão, vamos estimar quanta energia obteríamos a partir dessa quantidade de antimatéria se estivesse armazenada como núcleos de hidrogênio antipesados. Partiremos do pressuposto de que os núcleos são transportados como plasma rarefeito, que provavelmente seriam mais fáceis de armazenar magneticamente do que um líquido ou sólido. Nesse caso, 3 mil m^3 corresponderiam a cerca de 5 milhões de gramas de material. Se 1 grama por segundo fosse consumido em reações de aniquilação, isso produziria uma energia equivalente à energia total atualmente despendida em um dia da corrida da humanidade. Como indicamos acima ao comentar o motor de dobra, é preciso estar preparado para produzir pelo menos essa quantidade de energia a bordo de uma espaçonave. Seria possível continuar a utilizar o combustível nessas proporções durante 5 milhões de segundos, ou cerca de 2 meses. Supondo-se que uma nave estelar utilize o motor de matéria-antimatéria durante 5% do tempo de duração de suas missões, então teríamos os 3 anos de tempo de uso dessa quantidade de material.

Há outro fato (um que os roteiristas de Jornada nas Estrelas preferem esquecer de tempos em tempos) também relevante para a

quantidade de antimatéria necessária à produção de energia: a aniquilação matéria-antimatéria é uma proposição na base do tudo ou nada. Ela não é continuamente regulável. Ao mudar a razão de matéria para antimatéria no motor de dobra, não se modifica a taxa absoluta de geração de energia. A energia relativa comparada ao combustível — utilizado diminuirá somente se houver desperdício de combustível isto é, se algumas partículas de matéria deixarem de se aniquilar com a antimatéria correspondente, ou se meramente colidirem sem se aniquilar. Em diversos episódios ("The Naked Time" ["A Hora Nua"], "Galaxy's Child" ["A Criança da Galáxia"], "Skin of Evil" ["A Essência do Mal"]), a razão-matéria antimatéria é variada e segundo o manual técnico de Jornada nas Estrelas, essa razão pode variar continuamente de 25:1 para 1:1 em função da velocidade de dobra, com a proporção 1:1 sendo usada na dobra 8 ou maior. Para as velocidades maiores do que dobra 8, a quantidade de reagente é aumentada, mas a razão permanece inalterada. Mudar a quantidade de reagentes, mas não a razão, deveria ser sempre o procedimento adequado, como até os cadetes da Frota Estelar sabem. Wesley Crusher deixou isso claro ao afirmar no episódio "Corning of Age" ("Rito de Passagem") que a pergunta sobre matéria-antimatéria no exame da Frota era uma "pegadinha", pois há somente uma razão possível — 1:1.

Finalmente, os roteiristas de Jornada nas Estrelas acrescentaram um componente crucial ao motor de matéria-antimatéria. Refiro-me aos famosos cristais de dilítio (coincidentemente inventados por eles muito antes dos engenheiros do Fermilab optarem por um alvo de lítio na sua Fonte Antipróton). Seria impensável não mencioná-los, pois são a peça central do motor de dobra e, como tal, figuram proeminentemente na economia da Federação e em vários desenvolvimentos de tramas. (Por exemplo, sem a importância econômica do dilítio, a *Enterprise* nunca teria sido enviada para o sistema Halkan para garantir seus direitos de mineração, e nunca veríamos o "universo espelho", no qual a Federação é um império maligno!)

O que fazem esses notáveis produtos da imaginação dos roteiristas de Jornada nas Estrelas? Esses cristais (também conhecidos por sua

enorme fórmula — 2<5>6 dilítio 2<:> dialosilicato 1:9:1 heptoferranido) podem regular a taxa de aniquilação matéria-antimatéria, porque afirma-se que são a única forma de matéria que é "porosa" à antimatéria.

Liberalmente interpreto isso da seguinte maneira: cristais são átomos regularmente dispostos em forma de veneziana; portanto suponho que os átomos de anti-hidrogênio são costurados através das venezianas dos cristais de dilítio e logo permanecem a uma distância fixa tanto dos átomos da matéria normal quanto entre si. Dessa maneira, o dilítio regularia a densidade da antimatéria, e, portanto, a taxa de reação de matéria-antimatéria.

O motivo pelo qual invento essa explicação hipotética para a utilidade de um material hipotético é que mais uma vez os roteiristas de Jornada nas Estrelas estiveram adiante de seu tempo. Um argumento similar, pelo menos em espírito, foi proposto muitos anos depois de Jornada nas Estrelas ter introduzido a aniquilação matéria-antimatéria mediada pelo dilítio para justificar um processo igualmente exótico: a fusão a frio. Durante o auge da fusão a frio, que durou seis meses, foi afirmado que, juntando-se vários elementos quimicamente, seria possível de alguma forma induzir o núcleo dos átomos a reagir muito mais rapidamente do que o normal e assim produzir, à temperatura ambiente, as mesmas reações, de fusão, que, para gerar, o Sol precisa de altíssimas densidades e temperaturas (da ordem de milhões de graus).

Uma das várias implausibilidades dos argumentos da fusão a frio que despertou suspeitas entre os físicos é que as reações químicas e as ligações atômicas acontecem em escalas da ordem do tamanho atômico, que é 10 mil vezes maior do que o tamanho do núcleo dos átomos. É difícil acreditar que as reações acontecendo em escalas tão maiores do que as dimensões nucleares, poderiam afetar a taxa das reações nucleares. Apesar disso, até ser anunciado que os resultados não puderam ser reproduzidos por outros grupos de pesquisa, muita gente gastou tempo tentando entender como esse milagre seria possível.

Mas, como os roteiristas de Jornada nas Estrelas, ao contrário dos advogados da fusão a frio, nunca afirmaram estar escrevendo outra

coisa que não fosse ficção científica, suponho que devemos dar-lhes um desconto. Afinal, as reações mediadas pelo dilítio apenas ajudam o que é, sem dúvida, o aspecto mais fascinantemente realista da tecnologia das naves estelares: os motores de matéria-antimatéria. E eu acrescentaria que cristais — tungstênio, no caso, e não dilítio — são de fato utilizados para moderar, ou reduzir, os feixes de antielétrons (positrons) nas experiências modernas. Nelas, os antielétrons escapam do campo elétrico no cristal e perdem energia.

No universo, não existe maneira de obter mais por seu dinheiro do que pegar uma partícula e aniquilá-la com sua antipartícula para produzir pura energia de radiação. Essa é a última palavra em tecnologia de propulsão de foguetes e seguramente será usada se levarmos os foguetes às últimas conseqüências. O fato de custar muito caro é um problema para os políticos do século XXIII.

7 HOLODECKS E HOLOGRAMAS

"Bem, nós somos nós, senhor. Eles também somos nós. Portanto, de fato, ambos somos nós."

Data para Picard e Riker, em We'll Always Have Paris" ("Sempre Teremos Paris")

Quando Humphrey Bogart disse para Ingrid Bergman no aeroporto de Casablanca, "Sempre teremos Paris", ele queria dizer, é claro, a memória de Paris. Quando Picard disse algo parecido a Jenice Manheim na recriação do Café des Artistes feita pelo holodeck, sua intenção pode ter sido mais literal. Graças ao holodeck memórias podem ser revividas, lugares favoritos, revisitados e amores perdidos, redescobertos — ou quase.

O holodeck é uma das mais fascinantes tecnologias a bordo da *Enterprise.* Para qualquer um já familiarizado com o nascente mundo da realidade virtual, seja através de videogames ou dos mais sofisticados e modernos computadores de alta velocidade, as possibilidades oferecidas pelo holodeck são particularmente sedutoras. Quem não gostaria de entrar completamente em seu mundo de fantasia em um simples piscar de olhos?

De fato, ele é tão sedutor que tenho poucas dúvidas de que sua capacidade de viciar seja maior do que a apresentada na série. Temos alguns indícios desse vício nos episódios "Hollow Pursuits" ("Perseguições Vazias") e "Galaxy's Child" ("A Criança da Galáxia"). No primeiro, o oficial neurótico favorito de todos, o tenente Reginald Barclay, fica viciado em sua visão

Não obstante, cada nova tecnologia tem seu lado bom e seu lado ruim, e forçará ajustes em nosso comportamento. Provavelmente fique claro pelo tom deste livro que eu acredito que a tecnologia em geral tem melhorado nossas vidas, em vez de piorá-la. O desafio de nos ajustarmos a ela é apenas uma parte do desafio de participarmos de uma sociedade humana em evolução.

Seja como for, o holodeck surpreendentemente difere das tecnologias de realidade virtual atualmente em desenvolvimento. Hoje, por meio de dispositivos presos com tiras que influenciam nossa visão e impulsos sensoriais, a realidade virtual destina-se a colocar a "cena" dentro de você. O holodeck é mais inventivo: ele coloca você dentro da cena. Ele faz isso em parte pelo uso inventivo da holografia e em parte por meio de réplicas.

Os princípios sobre os quais a holografia se baseia foram elucidados pela primeira vez em 1947, muito antes da tecnologia estar disponível para exploração total, pelo físico inglês Dennis Gabor, que mais tarde ganharia o Prêmio Nobel por seu trabalho. Atualmente, a maioria das pessoas está familiarizada com o uso das imagens holográficas tridimensionais em cartões de crédito e até mesmo na capa de livros. A palavra "holograma" deriva dos termos em grego, significando "todo" e "escrever". Ao contrário da fotografia normal, que simplesmente registra representações bidimensionais da realidade tridimensional, os hologramas fornecem a imagem inteira. De fato, com a holografia, é possível recriar uma imagem tridimensional ao redor da qual se pode andar, olhando-a sob todos os ângulos como se fosse o objeto original. A única maneira de diferenciar é tentando tocá-la. Somente então descobriremos que não há nada ali para se tocar.

Como pode um filme bidimensional, que é onde a imagem holográfica é armazenada, gravar toda a informação de uma imagem tridimensional? Para responder a isso, precisamos pensar um pouco sobre o que realmente enxergamos quando vemos algo e o que uma foto realmente registra.

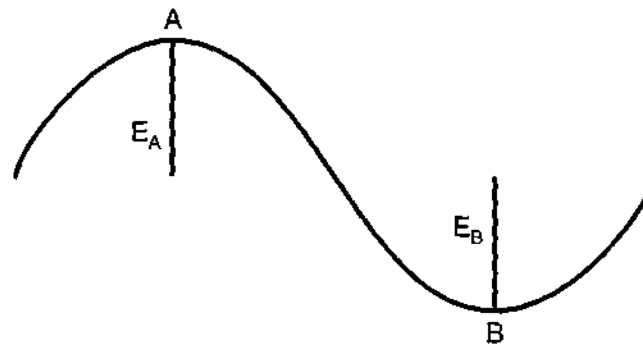
Vemos os objetos porque eles refletem ou emitem luz, que por sua vez chega a nossos olhos. Quando um objeto tridimensional é iluminado, ele espalha a luz em diversas direções, devido a essa tridimensionalidade. Se de alguma forma pudéssemos reproduzir o padrão exato de luz divergente criado quando a luz é espalhada pelo objeto real, então nossos olhos não conseguiriam distinguir entre o objeto real e o padrão de luz divergente sem o objeto. Por exemplo, ao movermos nossa cabeça, poderíamos ver detalhes que antes estavam obscurecidos, porque o padrão inteiro de luz refletindo de todos os

pontos do objeto teria sido recriado.

Como podemos armazenar e depois recriar toda essa informação? Podemos lançar uma luz sobre essa questão pensando a respeito do que uma fotografia normal — que armazena e posteriormente recria uma imagem bidimensional — realmente registra. Quando tiramos uma foto, expomos o material sensível à luz que chega através das lentes da câmera. Esse material sensível, quando exposto a vários produtos químicos, escurecerá na proporção da intensidade da luz que o atingiu. (Estamos discutindo o filme em preto-e-branco, mas estender o raciocínio para o filme colorido é simples: trata-se apenas de um filme recoberto por três diferentes substâncias, cada uma sensível a uma das três cores primárias.)

Portanto, o conteúdo total de informações gravado em um filme fotográfico é a intensidade da luz que chega a cada ponto do filme. Ao revelarmos o filme, aqueles pontos expostos a uma maior intensidade de luz reagirão aos reveladores para se tornarem escuros, ao passo que os que não foram tão expostos ficam mais claros. A imagem resultante é uma projeção bidimensional em "negativo" do campo de luz original. Pode-se projetar a luz através desse negativo sobre um papel sensível à luz para obter a foto em seu acabamento final. Quando olhamos para ela, a luz que atinge as áreas mais claras da foto será mais refletida, ao passo que a luz que incide sobre as áreas mais escuras será mais absorvida. Assim, olhar para a luz refletida pela foto produz um padrão de intensidade bidimensional em nossas retinas, o que então nos permite interpretá-lo.

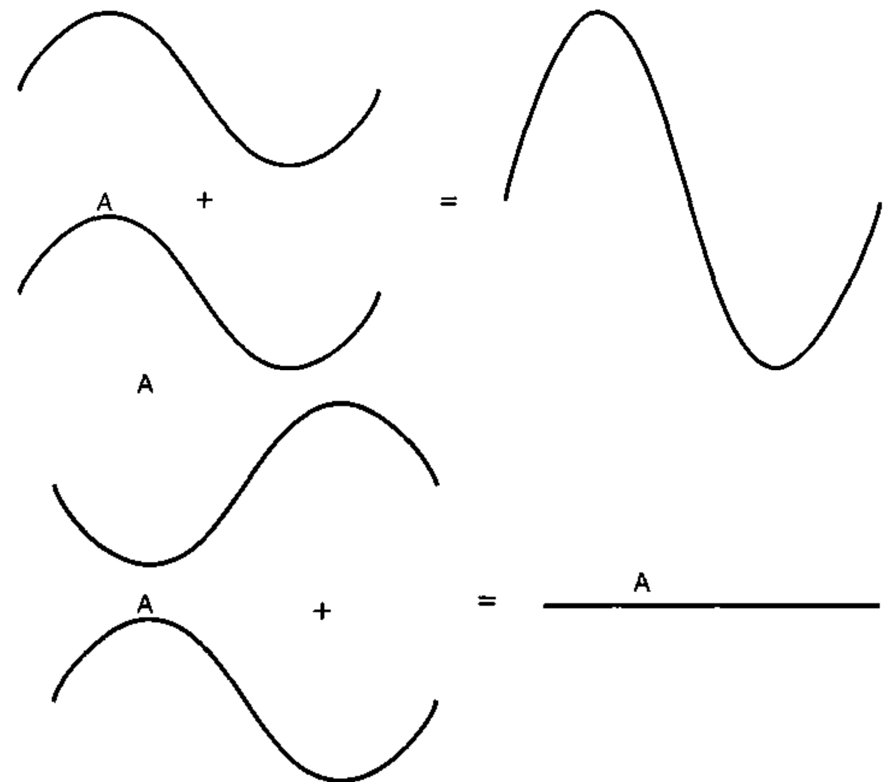
A pergunta então é: o que mais há para registrar do que apenas a intensidade da luz em cada ponto? Uma vez mais nos apoiamos no fato de que a luz é uma onda. Por causa disso, é preciso mais do que apenas intensidade para caracterizar essa configuração. Consideremos a onda de luz mostrada abaixo:



Na posição A, a onda, que neste caso representa a intensidade do campo elétrico, tem seu valor máximo correspondente a um campo elétrico com a intensidade E_A apontando para cima. No ponto B, o campo tem exatamente a mesma intensidade, mas apontando para baixo. Se formos sensíveis apenas à intensidade da onda de luz, descobriremos que o campo tem a mesma intensidade tanto em A quanto em B. Entretanto, como podemos ver, a parte de onda representada pelo ponto B é diferente da representada pelo ponto A. Essa "posição" ao longo da onda é chamada de *fase*. Acontece que podemos especificar todas as informações associadas à onda em um ponto dado, fornecendo sua intensidade e fase. Logo, para registrar todas as informações sobre as ondas de luz espalhadas por um objeto tridimensional, é preciso encontrar um meio de registrar em um filme tanto a intensidade quanto a fase da luz difusa.

Isso é simples de fazer. Se dividirmos um feixe de luz em duas partes e dirigirmos uma parte para o filme e a outra para ser refletida pelo objeto antes de iluminar o filme, então uma de duas coisas pode acontecer. Se as duas ondas de luz estiverem "em fase" — isso é, se ambas tiverem seu ponto máximo coincidindo no ponto A —, então a amplitude da onda resultante será o dobro da amplitude de cada uma das ondas iniciais, conforme o demonstrado abaixo:

Por outro lado, se as duas ondas estiverem fora de fase no ponto A, irão anular-se e a "onda" resultante terá amplitude zero em A:



Então, se o filme no ponto A for um filme fotográfico que registra apenas a intensidade, o padrão gravado será o "padrão de interferência" das duas ondas — o feixe de referência e o feixe de luz refletidos pelo objeto. Esse padrão contém não apenas as informações sobre a intensidade da luz refletida pelo objeto, mas também as informações sobre suas fases. Se formos espertos, poderemos extrair essas informações para recriar a imagem tridimensional do objeto que refletiu a luz.

Na verdade, não é preciso ser esperto. Basta iluminarmos esse filme fotográfico com uma fonte de luz do mesmo comprimento de onda da luz original que produziu o padrão de interferência para que, quando olharmos através do filme, uma imagem do objeto seja criada exatamente onde o objeto estava em relação ao filme. Se movermos a cabeça para um lado, poderemos ver "em torno" dos limites do objeto recriado. Se cobrirmos a maior parte do filme e, segurando-o perto da

vista, olharmos através da parte descoberta, poderemos ver o objeto inteiro! Nesse sentido, a experiência é como olhar por uma janela para uma paisagem lá fora, exceto pelo fato de que essa paisagem que vemos não é real. A luz que vem até nossos olhos através do filme é afetada de tal forma que faz com que nossos olhos acreditem que ela foi refletida por objetos, que então podemos "ver". Isso é um holograma.

Normalmente, para que a luz de referência e a luz refletida pelo objeto sejam controladas precisamente, os hologramas são feitos com laser, que é coerente e bem colimado. Entretanto, existem os assim chamados hologramas de "luz branca", que podem ser iluminados com luz comum para produzir o mesmo efeito.

Podemos ser mais astutos e arranjar, com o auxílio de diversas lentes, para que a imagem do objeto que vemos pareça estar entre nós e o filme, e teremos diante de nós a imagem tridimensional de um objeto que podemos circundar e olhar de todos os lados. Ou podemos arranjar para que a fonte de luz esteja em frente do filme, em vez de atrás dele, como os hologramas nos cartões de crédito.

Presume-se que o primeiro tipo de holograma tenha sido usado no holodeck, e também para recriar a imagem de um médico na enfermaria, como foi feito na série *Voyager*. Além do mais, não seria preciso usar os objetos originais para fazer a imagem holográfica. Computadores digitais já são sofisticados o suficiente para realizar o "ray tracing" (esquadrinhamento de raio) — isto é, eles podem calcular o padrão de luz refletida por qualquer objeto hipotético que queiramos ver na tela e iluminá-lo a partir de qualquer ângulo. Da mesma forma, o computador pode determinar a configuração do padrão de interferência que seria causado pela mistura da luz de um feixe direto com aquela refletida pelo objeto. Esse padrão de interferência gerado por computador poderia ser projetado numa tela transparente que, ao ser iluminada por trás, produziria uma imagem tridimensional do objeto que na realidade nunca existiu. Se o computador for rápido o suficiente, ele poderá projetar um padrão de interferência em constante mudança, produzindo assim uma imagem tridimensional em movimento. Logo, o aspecto holográfico do holodeck não é tão distante assim.

No entanto, o holograma não é tudo para o holodeck. Como dissemos, eles não possuem integridade corpórea. Pode-se andar através de um, como vimos nas maravilhosas representações holográficas criadas por Spock e Data para confundir os romulanos no episódio "Unification" ("Unificação" ou "Além da Terra Desconhecida")*. Essa falta de corporalidade simplesmente não funcionará para objetos com os quais gostaríamos de interagir isto é, tocar — no holodeck. Aqui, técnicas mais "esotéricas" são necessárias e os roteiristas de Jornada nas Estrelas recorreram ao teletransporte, ou pelo menos às copiadoras, que são versões menos sofisticadas do teletransporte. Presume-se que, usando-se a tecnologia do teletransporte, a matéria seja copiada e movida pelo holodeck para simular exatamente os seres em questão, em cuidadosa coordenação com programas de computador que controlam as vozes e os movimentos dos seres recriados. De forma parecida, as copiadoras reproduzem objetos inanimados na cena — mesas, cadeiras e assim por diante. Essa "matéria de holodeck" deve sua forma ao padrão contido no buffer da copiadora. Quando o teletransporte é desligado ou o objeto é removido do holodeck, a matéria pode ser desmontada tão facilmente quanto seria se o buffer de padrões fosse desligado durante uma projeção. Logo, as criaturas feitas com matéria de holodeck podem ser aprisionadas no holodeck, como os fictícios detetives Cyrus Redblock e Felix Leach descobriram, para sua surpresa, no episódio "The Big Goodbye" ("O Grande Adeus") de *A Nova Geração,* e o professor Moriarty, oponente de Sherlock Holmes, presumiu e em seguida tentou superar em diversos outros episódios.

* N.R.F.C.: Um episódio de *A Nova Geração* disponível em videolocadoras no Brasil.

Portanto, agora é assim que vejo o holodeck: hologramas seriam efetivos ao redor de paredes, para dar a impressão de estar num ambiente tridimensional que se estenderia até o horizonte, e as copiadoras baseadas no teletransporte criariam então os objetos "sólidos" que se movimentam na cena. Uma vez que a holografia é realista, enquanto os transportadores (conforme explicamos) não o são, teríamos de encontrar alguma outra forma de moldar e mover a matéria para produzir um holodeck plausível. Ainda assim, uma das

duas tecnologias disponíveis não seria má.

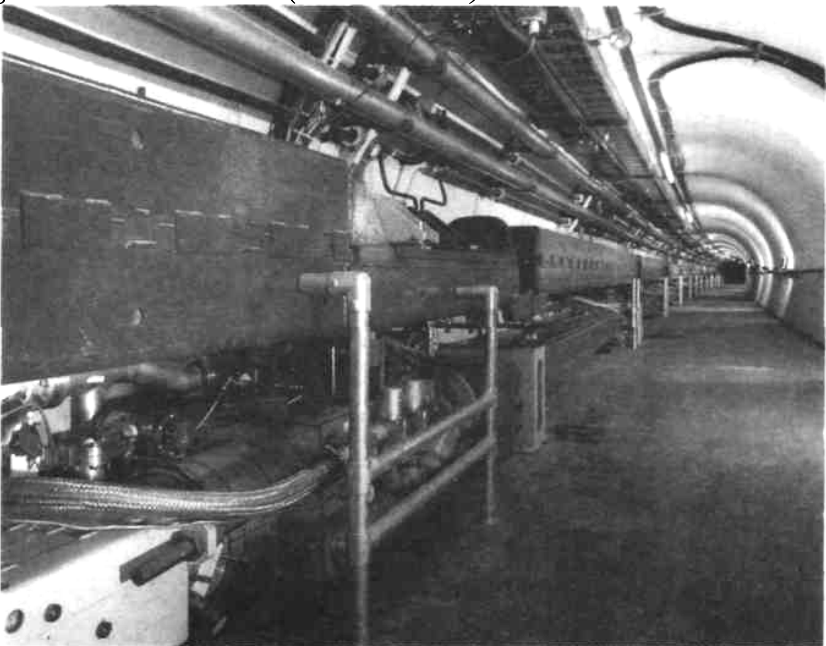
Mas onde tudo isso deixa os hologramas puros, como o médico holográfico da série *Voyager?* A resposta é absolutamente em lugar algum. Com apenas a luz refletida e nenhuma matéria, temo que essas imagens não sejam muito úteis para se levantar, manipular ou sondar. Entretanto, boas maneiras e bons conselhos, que são a essência da boa prática médica, podem ser fornecidos por um holograma tão facilmente quanto por uma pessoa real.



Vista aérea do Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab) em Batavia. Illinois, que abriga o acelerador de maior energia em todo o mundo, o Tevatron e a maior unidade de produção e armazenagem de antiprótons do mundo. O anel de cerca de 6 quilômetros de circunferência, contendo o acelerador, é claramente distinto. O círculo em primeiro plano é o Injetor Principal, um aperfeiçoamento do acelerador ainda em construção. *(Foto Fermilab)*

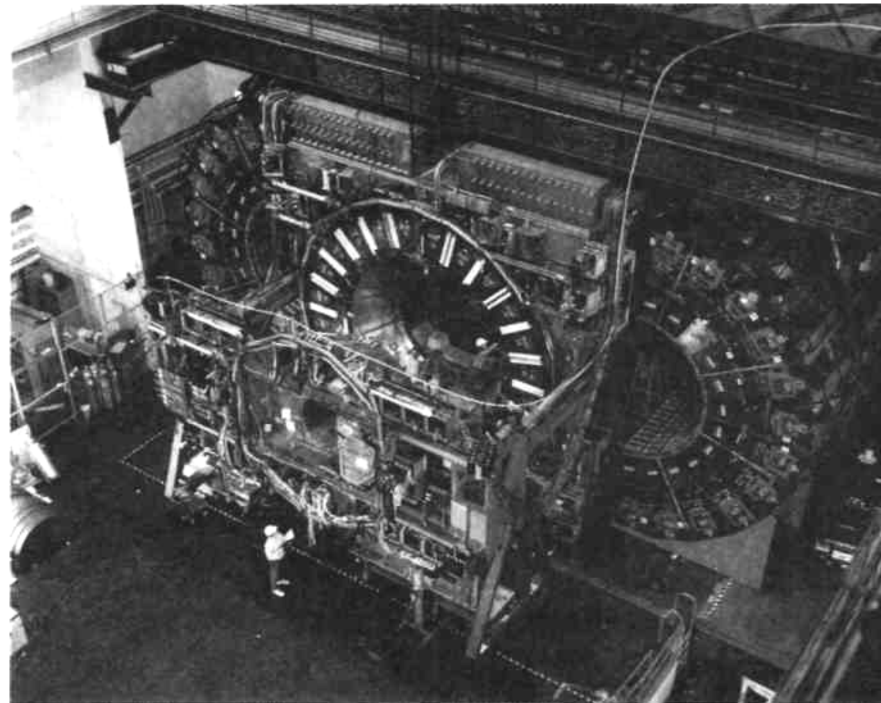


John Peoples, diretor do Fermilab, junto à fonte antipróton que desenhou. Os antiprótons produzidos pela colisão de pró-tons contra um alvo de lítio são armazenados num feixe circular, utilizando-se o conjunto de magnetos mostrado na foto. *(Foto Fermilab)*

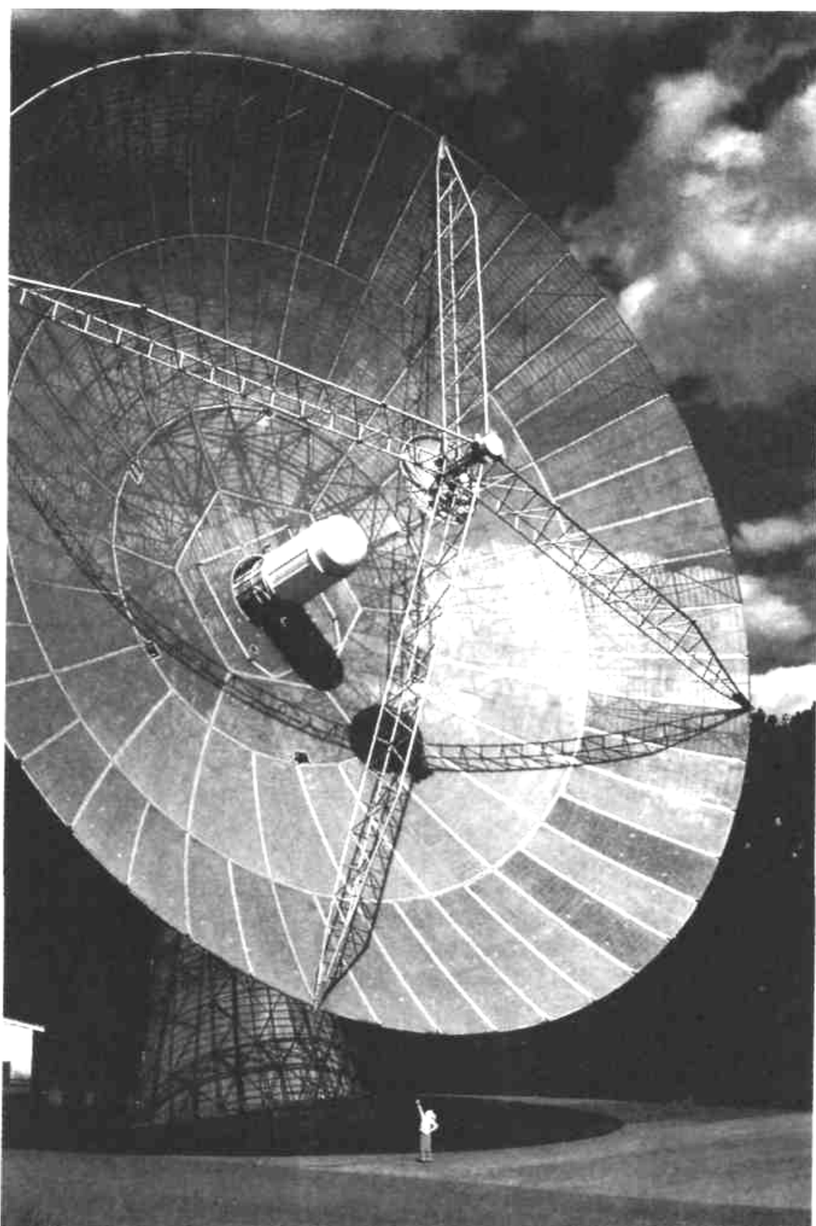


Parte do túnel do acelerador, de 6 quilômetros de comprimento e que fica

a 7 metros abaixo da superfície, contendo os feixes próton-antipróton e o conjunto de magnetos supercondutores (anel inferior) utilizado para direcioná-los e acelerá-los a uma energia perto de 10 elétron volts. *{Foto Fermilab)*



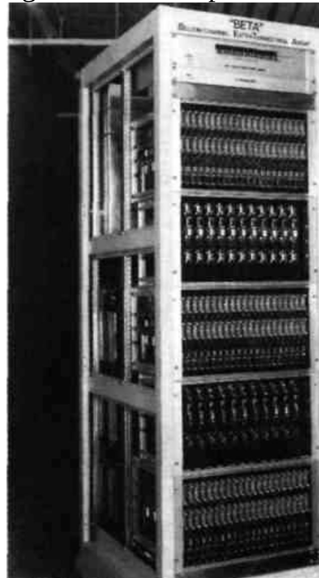
Um dos dois grandes detectores do Fermilab, construído para analisar as colisões de alta energia de prótons e antiprótons. O detector de 5 mil toneladas é movido para dentro e fora do feixe sobre grandes rolamentos. *{Foto Fermilab)*



O radiotelescópio Harvard, situado em Harvard, Massachusetts, utilizado para obter dados para o META (Megachannel Extra Terrestrial Array), um experimento destinado à busca de sinais de vida extraterrestre em nossa galáxia. *(Foto Fermilab)*

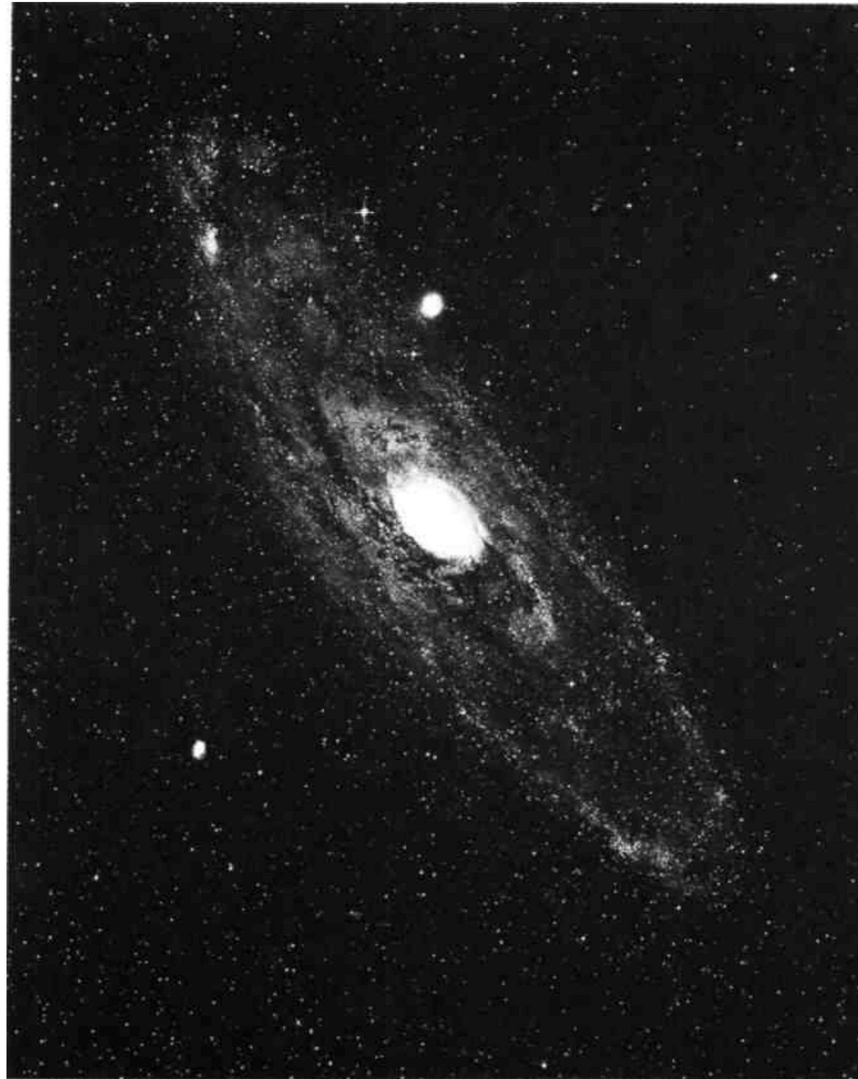


O agrupamento de supercomputadores META, projetado para a escuta de milhões de canais ao mesmo tempo, em busca de sinais de vida inteligente de outros pontos da galáxia. *(Foto Fermilab)*



O novo supercomputador BETA, (Billionchannel Extra Terrestrial

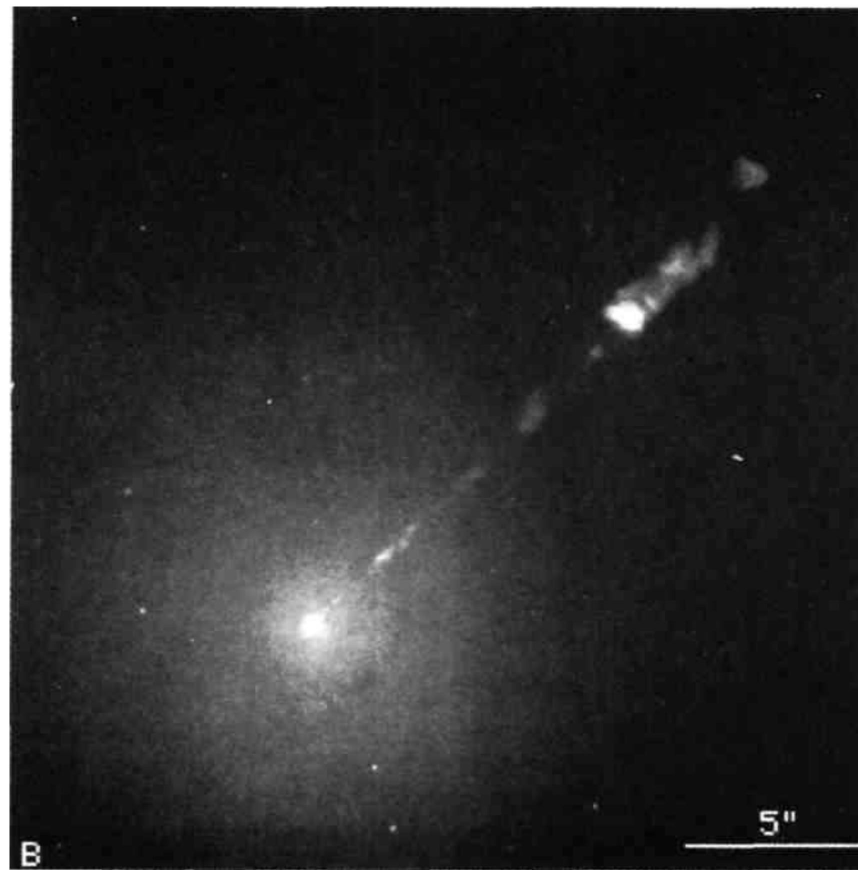
Array), que será parte da nova geração de equipamentos na busca de inteligência extraterrestre. *(Foto Fermilab)*



A galáxia de Andrômeda (M31). Essa é a galáxia espiral similar à nossa mais próxima, a cerca de 6 milhões de anos-luz. *(Imagem Fotográfica do Observatório Lick)*



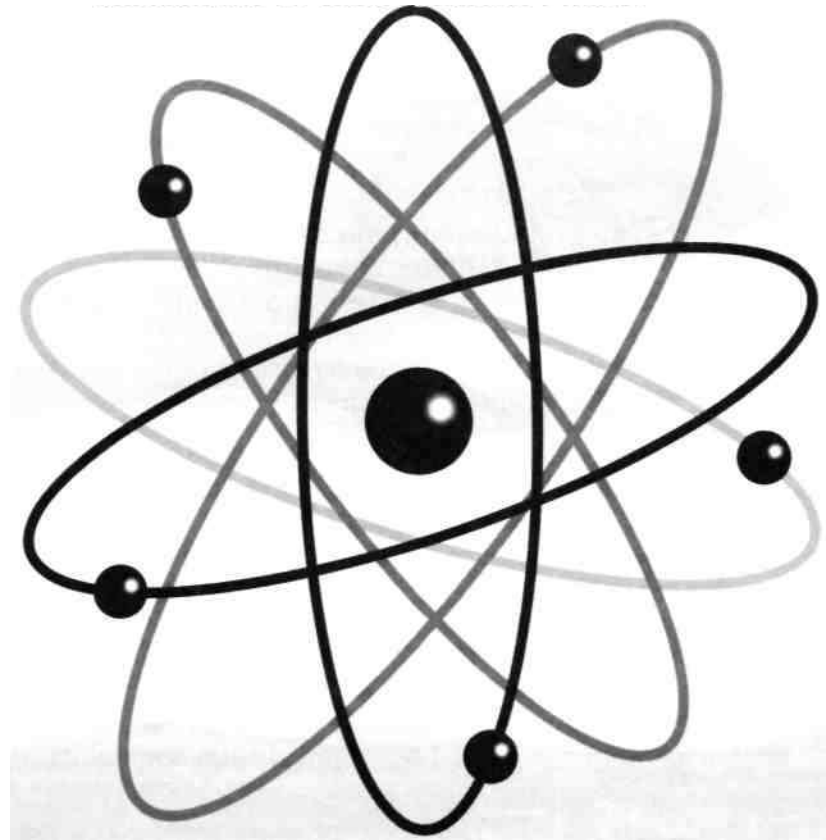
Uma foto de nossa própria galáxia feita pelos detectores de rádio e microondas do satélite COBE (Cosmic Background Explorer). Esta é a primeira foto verdadeira da Via Láctea, mostrando lateralmente sua estrutura espiral a partir do ponto de vista da Terra. *(NASA/COBE)*



Uma foto de alta resolução do núcleo da galáxia M87, que se supõe abrigar um buraco negro com massa de mais 2 bilhões de vezes a do Sol. O pequeno disco de gás ionizado ao centro, quase perpendicular ao grande jato de rádio visto emergindo do centro, gira a cerca de 750 quilômetros por segundo, o que fornece uma forte evidência dinâmica da existência do buraco negro. *(Holland Ford e NASA)*

Parte - 3 O UNIVERSO INVISÍVEL. OU COISAS QUE NOS CHACOALHAM DURANTE A NOITE

No qual se falam das coisas que podem existir, mas ainda não são vistas — vida extraterrestre, múltiplas dimensões e o exótico zoológico de outras possibilidades e impossibilidades físicas.



8 A PROCURA DE SPOCK

"É difícil trabalhar em grupo quando se é onipotente."

Q, ao se unir à tripulação da Enterprise, *em "Déjà Q"*

"Incansável agressão, conquista territorial e uma aniquilação genocida... sempre que possível.... A colônia está integrada como se fosse de fato um organismo regulado por um genoma que restringe o comportamento, mas também o permite.... O superorganismo físico age para ajustar a mistura demográfica, de modo que otimize sua economia de energia.... As regras austeras não permitem qualquer arte, brincadeira ou empatia."

Os borg estão entre as mais assustadoras e intrigantes espécies de criaturas alienígenas que já apareceram nas telas de TV. O que os faz tão fascinantes, em meu ponto de vista, é que algum organismo como o deles pareça plausível com base na seleção natural. De fato, apesar de o parágrafo citado acima fornecer uma boa descrição dos Borg, ele não foi retirado de um episódio de Jornada nas Estrelas. Em vez disso, ele aparece em *Journey to the Ants (Jornada às Formigas)*, de Bert Hölldobler e Edward O. Wilson, e é uma descrição não dos Borg, mas sim de nossos próprios amigos terrestres, os insetos.[1] As formigas têm obtido um notável sucesso na escala da evolução e não é difícil compreender por quê. É impossível imaginar uma sociedade cognitiva se desenvolvendo em um superorganismo comunitário parecido? Refinamentos intelectuais, tais como empatia, seriam necessários em uma sociedade como essa? Ou seriam um estorvo?

1. Artigo de Philip Morrison no *Scientific American*, novembro de 1994, sobre HÖLLDOBLER e WILSON, *journey to the Ants: A Story of Scientific Explorations* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994).

Gene Roddenberry disse que o real propósito da nave estelar *Enterprise* era o de servir como veículo não de viagens espaciais, mas de uma narrativa. Por trás de toda a feitiçaria técnica, até mesmo um *techie* (aficionado por tecnologia) como eu reconhece que o que faz

Jornada nas Estrelas eletrizante é o drama, os mesmos grandes temas que conduziram o ato de narrar desde os épicos gregos — amor, ódio, traição, ciúme, confiança, medo, admiração.... Todos nos ligamos mais intimamente a histórias que iluminam essas emoções humanas que governam nossas vidas. Se a velocidade de dobra fosse usada apenas para impulsionar sondas não-tripuladas, se o teletransporte tivesse sido criado apenas para transportar amostras de solo, se os tricordes médicos fossem usados apenas em vegetais, Jornada nas Estrelas não teria passado de sua primeira temporada.

De fato, a "missão contínua" da nave estelar *Enterprise* não é a de explorar ainda mais as leis da Física, mas sim a de "explorar novos mundos, pesquisar novas vidas, novas civilizações". O que faz Jornada nas Estrelas tão fascinante — e tão duradoura, penso eu — é que ela permite ao drama humano ser estendido para muito além do domínio humano. Fica-se imaginando como as espécies alienígenas poderiam se desenvolver para lidar com os mesmos problemas e questões com os quais a humanidade se defronta. Somos expostos a novas culturas imaginárias, novas ameaças. Ela fornece um pouco daquela mesma fascinação que experimentamos ao visitar um país estrangeiro pela primeira vez, ou aquela que às vezes sentimos quando estudamos história e descobrimos tanto o que é completamente diferente quanto o que é exatamente igual no comportamento de pessoas vivendo em séculos diferentes.

Claro, é preciso suspender o ceticismo para um entretenimento assim. É notável que quase todas as espécies alienígenas encontradas pela *Enterprise* tenham forma humana e falem o inglês! (Em sua defesa, os roteiristas de Jornada nas Estrelas inventaram, na sexta temporada de *A Nova Geração*, uma explicação para isso. O arqueólogo Richard Galen aparentemente descobre que uma grande variedade dessas civilizações possui o mesmo material genético, que teria sido lançado nos oceanos primordiais de diversos mundos por alguma civilização muito antiga. Essa é uma noção remanescente da em parte irônica teoria da Panspermia do prêmio Nobel Francis Crick.)[2].

2. CRICK, Francis. *Life Itself* (New York: Simon & Schuster, 1981).

Isso não escapou de nenhum *trekker*, e talvez tenha sido colocado

de maneira mais colorida para mim pelo físico teórico e prêmio Nobel Sheldon Glashow, que disse a respeito dos alienígenas: "Todos eles se parecem com pessoas com elefantíase!". Apesar de tudo, ele, como a maioria dos *trekkers*, ignora esses contratempos da trama para apreciar a exploração da psicologia alienígena feita pelos roteiristas de Jornada nas Estrelas. Os roteiristas de Hollywood, em geral, não são nem cientistas nem engenheiros, portanto é natural esperar que a maior parte de sua energia criativa seja dirigida para conceber culturas alienígenas, e não biologia alienígena.

E como têm sido criativos. Além dos Borg e do onipotente e cheio de truques Q, mais de 200 espécies de vida específicas povoam o universo de Jornada nas Estrelas — até eu parar de contar. Nossa galáxia é aparentemente cheia de outras civilizações inteligentes, algumas mais e outras menos avançadas. Algumas, como a Federação, os klingons, os romulanos e os cardassianos, controlam grandes impérios, enquanto outras existem isoladas em planetas únicos ou no vazio do espaço.

A descoberta de inteligência extraterrestre poderia ser, como foi enfatizado pelos protagonistas da pesquisa atual, a maior descoberta na história da raça humana. Certamente, é difícil imaginar uma descoberta que pudesse mudar nossa visão de nós mesmos e de nosso lugar no universo mais do que essa. Não obstante, depois de três décadas de buscas coordenadas, ainda estamos por encontrar provas definitivas de qualquer forma de vida fora de nosso próprio planeta. Pode-se achar isso surpreendente. É certo que, se existe vida lá fora, parece inevitável que a encontremos, assim como tantas civilizações que surgiram em diversos continentes aqui na Terra eventualmente se encontraram, às vezes traumaticamente.

Apesar disso, quando pensamos detalhadamente sobre a possibilidade de descobrir vida inteligente em outros lugares do universo, a natureza ousada da pesquisa torna-se clara. Consideremos, por exemplo, que alguma outra civilização da galáxia tenha de alguma forma sabido exatamente onde procurar entre as 400 bilhões ou mais de estrelas da Via Láctea para encontrar um planeta que poderia sustentar vida. Digamos mais ainda, que eles teriam dirigido seu olhar para nosso Sol. Qual é a probabilidade de descobrirem nossa

existência? A vida existe na Terra durante a maior parte de seus 4,5 bilhões de anos. Ainda assim, foi apenas a partir do último meio século que começamos a transmitir sinais de nossa presença. Além disso, foi somente a partir dos últimos 25 anos que desenvolvemos radiotelescópios poderosos o suficiente para servir como transmissores de rádio passíveis de observação por outras civilizações. Portanto, dos 4,5 bilhões de anos durante os quais os alienígenas podem ter estado investigando a Terra do espaço, eles conseguiriam nos descobrir apenas durante o último meio século. Supondo-se que uma civilização alienígena tenha escolhido nos observar em algum tempo ao longo de toda a história do planeta, a possibilidade de descobrir nossa existência seria de 1 em 100 milhões, aproximadamente. E lembremos que isso se aplica apenas se eles soubessem onde procurar!

Livros inteiros têm sido escritos sobre a possibilidade de existência de vida em outros lugares da galáxia, e também sobre a possibilidade de detectá-la. As estimativas sobre o número de civilizações avançadas variam de milhões, no lado mais alto, até uma, no mais baixo (interpretando livremente a nossa civilização como avançada.) Não é meu propósito rever aqui todos os argumentos em profundidade. Gostaria, entretanto, de descrever alguns dos argumentos físicos mais interessantes em relação à origem das espécies de vida que a *Enterprise* foi enviada a descobrir, e discutir algumas das estratégias atualmente empregadas aqui na Terra para procurá-las.

O argumento *a priori* de que deve existir vida em algum outro ponto da galáxia me parece instigante. Como dissemos, há cerca de 400 bilhões de estrelas em nossa galáxia. Pareceria realmente notável se nosso Sol fosse a única nas redondezas com vida inteligente. Pode-se propor o que superficialmente parece ser um argumento sofisticado para estimar a probabilidade de que vida como a nossa ocorra em outros lugares, começando com perguntas óbvias como "Qual a probabilidade de que a maioria das estrelas tenham planetas?" ou "Qual a probabilidade de que essa estrela em particular viverá o suficiente para sustentar vida num sistema planetário?", e então passando a assuntos planetários como "Será esse planeta grande o

suficiente para manter uma atmosfera?" ou "Quais as possibilidades de que ele tenha tido uma atividade vulcânica primordial que seja suficiente para produzir água na superfície?", ou ainda "Qual a probabilidade de ele ter uma Lua com massa suficiente, ou próxima o suficiente, para produzir marés que originariam lagos onde a vida surgiria, sem no entanto produzir maremotos diariamente?". Enquanto discutimos algumas dessas questões, o problema de tentar determinar probabilidades realísticas é, primeiro, que muitos dos parâmetros relevantes não são determinados e, segundo, não sabemos como todos esses parâmetros se correlacionam. É bastante difícil determinar com precisão a probabilidade de eventos diários. Quando nos dispomos a estimar a seqüência de probabilidades muito pequenas, o significado operacional dessa tentativa geralmente torna-se marginal.

Também devemos nos lembrar de que, mesmo se derivarmos uma probabilidade bem definida, sua interpretação pode ser muito sutil. Por exemplo, a probabilidade de qualquer seqüência específica de eventos — tal como o fato de eu estar sentado neste tipo de cadeira específico, escrevendo neste computador específico (entre todas as milhões de máquinas fabricadas a cada ano), neste local específico (entre todas as possíveis cidades do mundo), nesta hora específica do dia (entre os 86.400 segundos de cada dia) — é extremamente pequena. O mesmo pode ser dito de qualquer outro conjunto de circunstâncias em minha vida. Da mesma forma, no mundo inanimado, a probabilidade de que, digamos, um núcleo radioativo decaia no exato momento em que ele o faz também é extremamente pequena. Mas não calculamos esse tipo de probabilidade. Em vez disso, perguntamos quão prováveis é que esse núcleo decaia em algum intervalo de tempo não-zero, ou se isso é mais provável em um determinado tempo do que em outro.

Ao tentarmos estimar as probabilidades de vida na galáxia, temos de ter o cuidado de não restringir excessivamente a seqüência de eventos que consideramos. Se o fizermos, e isso tem ocorrido, é provável que concluamos que a probabilidade de que a vida tenha se formado na Terra quando se formou seja infinitamente pequena, o que às vezes é utilizado como argumento para a existência da interferência Divina. Entretanto, conforme indicamos, a mesma probabilidade

infinitamente pequena pode ser atribuída à possibilidade de que o sinal que posso ver pela janela ficará vermelho enquanto espero em meu carro precisamente às 11h57 do dia 3 de junho de 1999. Mas isso não significa que tal fato não acontecerá.

O fato importante a ser reconhecido é que *a vida de fato se formou* na galáxia pelo menos uma vez. Não posso enfatizar suficientemente a importância disso. Com base em toda a nossa experiência científica, a natureza raramente produz um fenômeno apenas uma vez. O fato de existirmos prova que a formação da vida é possível. Uma vez que sabemos que a vida pode se originar nesta galáxia, a probabilidade de que isso ocorra em outros lugares é aumentada grandemente. (Claro, como alguns biólogos evolucionistas argumentaram, não é preciso desenvolver uma inteligência.)

Mas se nossas imaginações são, sem dúvida, fracas demais para considerar todas as combinações de condições que poderiam dar origem à vida inteligente, podemos usar nossa própria existência para perguntar que propriedades do universo foram essenciais ou importantes em nossa própria evolução.

Primeiro, começamos com o universo como um todo. Já mencionamos uma coincidência cósmica: a de que havia um próton extra produzido no universo primordial para cada 10 bilhões de prótons e antiprótons. Sem esses carinhas extras, a matéria teria se aniquilado com a antimatéria e não haveria matéria restante no universo hoje, inteligente ou não.

A próxima característica óbvia do universo em que vivemos é a de que ele é velho, muito velho. A vida inteligente levou cerca de 3,5 bilhões de anos para se desenvolver na Terra. Logo, nossa existência requer um universo que tenha conciliado nossa chegada durante bilhões de anos. A melhor estimativa atual da idade de nosso universo fica entre 10 e 20 bilhões de anos, o que é uma duração e tanto. Entretanto, acontece que *a priori* não é tão fácil conceber um universo que se expande, assim como o nosso o faz, sem que ele entre novamente em colapso rapidamente em uma espécie de reversão do big bang — um *big crunch* —, ou se expandindo tão rapidamente que não haveria tempo da matéria se unir, formando estrelas e galáxias. Essa condição inicial do universo, ou algum processo físico dinâmico

na história de sua origem, teria de ser ajustado de maneira muito precisa para as coisas andarem direitinho.

Isso ficou conhecido como o problema do "plano", e sua compreensão tornou-se uma das questões centrais da cosmologia atual. A atração gravitacional devida à presença de matéria tende a diminuir a expansão do universo. Como resultado, há duas possibilidades. Ou existe matéria suficiente no universo para causar a interrupção e reversão da expansão (um universo "fechado") ou não há (um universo "aberto"). O que é surpreendente no universo atual é que, ao acrescentarmos toda a matéria que estimamos presente, a quantidade que encontramos está tão próxima da linha de fronteira entre essas duas possibilidades que a suspeita é grande — um universo "plano" no qual a expansão observada iria reduzir-se, mas nunca chegaria a parar em uma quantidade de tempo finita.

O que torna isso particularmente surpreendente é que, à medida que o universo evolui, se ele não for exatamente plano, então irá desviar-se cada vez mais do plano conforme o tempo passa. Uma vez que o universo tem pelo menos 10 bilhões de anos atualmente, e as observações sugerem que ele está próximo de ser plano hoje, então, em tempos remotos, ele deve ter estado incomensuravelmente próximo de ser plano. É difícil imaginar como isso teria podido acontecer ao acaso, sem qualquer processo físico que assim o determinasse. Há 15 anos, um processo físico candidato a dar essa explicação foi inventado. Conhecido como "inflação", esse é um processo onipresente que pode ocorrer devido aos efeitos da mecânica quântica no universo primordial.

Lembre-se de que o espaço vazio não é realmente vazio, pois as flutuações quânticas no vácuo podem transportar energia. Acontece que é possível, conforme a natureza das forças entre as partículas elementares se desenvolve com a temperatura no universo primordial, que a energia armazenada como flutuações quânticas no espaço vazio possa ser a forma de energia dominante no universo. Essa energia no vácuo pode repelir em vez de atrair gravitacionalmente. A hipótese é de que o universo atravessou um breve período inflacionário durante o qual foi dominado por essa energia do vácuo, resultando assim em uma rápida expansão. É possível mostrar com alta precisão que,

quando esse período terminou e a energia do vácuo foi transferida para a energia da matéria e radiação, o universo pode facilmente ter se tornado plano.

Entretanto, um outro problema, talvez ainda mais grave, permanece. Foi Einstein quem de fato o introduziu pela primeira vez, ao tentar aplicar sua então nova teoria da relatividade geral ao universo. Naquela época, ainda não se sabia que o universo estava se expandindo; ao contrário, pensava-se que o universo fosse estático e imutável em grandes escalas. Então, Einstein tinha de imaginar alguma forma de impedir o colapso de toda essa matéria devido à sua própria atração gravitacional. Ele acrescentou um termo à sua equação, chamado de constante cosmológica, que essencialmente introduzia uma repulsão cosmológica para contrabalançar a atração gravitacional da matéria em grandes escalas. Uma vez que foi reconhecido que o universo não era estático, Einstein se deu conta de que não havia necessidade desse termo, cuja adição ele chamou de "o maior erro" que já havia cometido.

Infelizmente, assim como tentar colocar a pasta de dente de volta no tubo, uma vez que a possibilidade de uma constante cosmológica foi levantada, não há retorno. Se esse termo foi possível nas equações de Einstein, então é preciso explicar por que ele está ausente do universo observado. Na realidade, a energia do vácuo que descrevemos acima produz exatamente o efeito que Einstein procurava produzir com a constante cosmológica. Portanto, a pergunta é: como essa energia do vácuo não é predominante no universo atual? — ou: como o universo não continua "inflando"?

Não temos a resposta para essa questão. Provavelmente é uma das mais profundas questões da Física ainda sem resposta. Cada cálculo que fazemos com as teorias que temos hoje sugere que a energia do vácuo atualmente deveria ser várias ordens de magnitude maior do que nossas observações o permitem. Há idéias, baseadas em exotismos como os buracos de minhoca euclidianos, para fazê-la desaparecer, mas nenhuma é sólida o bastante. Talvez ainda mais surpreendente, todas as observações recentes, em diversas escalas, sugerem que a constante cosmológica, embora muito menor do que podemos explicar, hoje pode ser diferente de zero, apesar de tudo, e,

portanto, pode ter um efeito mensurável sobre a evolução do universo — tornando-o mais velho do que seria sem ela, por exemplo. Esse é um assunto de grande interesse, e na realidade representa boa parte de meus esforços de pesquisa atualmente.

Entretanto, qualquer que seja a resolução desse problema, fica claro que o fato de o universo ser quase plano foi uma das condições necessárias para a eventual origem da vida na Terra, e que as condições cosmológicas que favoreceram a formação da vida na Terra também são válidas para o resto do universo.

Em um nível microfísico fundamental, também existe todo um leque de coincidências cósmicas que permitiram a formação de vida na Terra. Se qualquer uma das diversas quantidades físicas fundamentais na natureza fosse ligeiramente diferente, então as condições essenciais para a evolução da vida na Terra não teriam existido. Por exemplo, se a ínfima diferença de massa entre um nêutron e um próton (cerca de 1 parte em 1.000) fosse alterada por um fator de apenas 2, a abundância de elementos no universo — alguns deles essenciais para a vida na Terra — seria radicalmente diferente daquela que observamos hoje. Seguindo o mesmo raciocínio, se o nível de energia de um dos estados de excitação do núcleo do átomo de carbono fosse ligeiramente diferente, então as reações que produzem o carbono no interior das estrelas não aconteceriam e não haveria carbono — a base das moléculas orgânicas — no universo hoje.

Claro, é difícil saber quanta ênfase dar a cada uma dessas coincidências. Não devemos nos surpreender, posto que evoluímos neste universo, ao saber que as constantes da natureza possuem os valores que nos permitiram evoluir em primeiro lugar. Pode-se imaginar, para os propósitos do argumento, que nosso universo observado é parte de um meta-universo que existe em escala muito maior do que aquela que podemos observar. Em cada um dos universos que constituem este meta-universo, as constantes da natureza poderiam ser diferentes. Nesses universos com constantes incompatíveis com a evolução da vida, ninguém está lá para medir nada. Parafraseando o argumento do cosmólogo russo Andrei Linde, que parece apoiar a forma daquilo que é conhecido como "princípio

antrópico", seria como um peixe inteligente se perguntando por que o universo no qual vive (o interior de um aquário) é feito de água. A resposta é simples: se não fosse feito de água, o peixe não estaria lá para perguntar.

Já que a maior parte dessas questões, mesmo sendo interessante, não é empiricamente passível de resolução nos dias de hoje, talvez seja melhor deixá-la para os filósofos, teólogos ou talvez para os roteiristas de ficção científica. Vamos então aceitar o fato de que o universo conseguiu evoluir, tanto microscópica quanto macroscopicamente, de uma forma que é condizente com a evolução da vida. Em seguida, iremos nos voltar para nosso próprio lar, a galáxia Via Láctea.

Quando consideramos quais sistemas em nossa própria galáxia poderiam abrigar vida inteligente, as questões da Física ficam muito mais nítidas. Dado que, existem estrelas na Via Láctea que segundo todas as estimativas, têm pelo menos 10 bilhões de anos, ao passo que a vida na Terra não passa dos 3,5 bilhões de anos, isso nos leva a perguntar durante quanto tempo a vida poderia ter existido em nossa galáxia antes de surgir na Terra.

Quando nossa galáxia começou a condensar depois da expansão universal, há 10 ou 20 bilhões de anos, suas estrelas de primeira geração eram totalmente compostas de hélio e hidrogênio, que foram os únicos elementos criados em abundância significativa durante o big bang. A fusão nuclear dentro dessas estrelas continuava a converter hidrogênio em hélio, e depois que esse combustível de hidrogênio se esgotava, o hélio começava a "queimar" para formar elementos ainda mais pesados. Essas reações de fusão continuaram a acontecer na estrela, até que seu núcleo fosse composto preponderantemente de ferro. Como o ferro não pode ser fundido para formar novos elementos mais pesados, o combustível nuclear da estrela se esgota. Quanto uma estrela queima seu combustível nuclear depende de sua massa. Nosso Sol, depois de 5 bilhões de anos queimando hidrogênio, ainda não atingiu nem a metade de sua primeira fase de evolução estelar. Estrelas com 10 massas solares, isto é, 10 vezes a massa do Sol, queimam combustível cerca de 1000 vezes mais rápido do que o Sol. Essas estrelas consumirão seu combustível de hidrogênio em

menos de 100 milhões de anos, em vez dos 10 bilhões de anos de vida útil do Sol.

O que acontece a uma dessas estrelas de elevada concentração de massa quando seu combustível nuclear se esgota? Segundos depois de queimar as últimas moléculas, a parte externa da estrela é lançada em uma explosão conhecida como supernova, um dos mais brilhantes fogos de artifício do universo. As supernovas brilham com a luminosidade de um bilhão de estrelas durante um tempo muito breve. Atualmente, ocorrem em nossa galáxia à razão de duas ou três a cada 100 anos. Cerca de 1000 anos atrás, os astrônomos chineses observaram uma nova estrela visível à luz do dia, que chamaram de "estrela convidada". Essa supernova criou a Nebulosa do Caranguejo, que hoje podemos observar com telescópios. O interessante é que em nenhum lugar da Europa Ocidental esse efêmero objeto foi registrado. O dogma da igreja declarava que o céu é eterno e imutável, e era muito mais fácil não dizer nada do que ser queimado na estaca. Quase 500 anos depois, astrônomos europeus tinham se libertado desse dogma o suficiente para que o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe pudesse registrar a próxima supernova observável da galáxia.

Muitos dos elementos pesados criados durante o processamento estelar e outros criados durante a própria explosão são dispersados no meio interestelar, e parte dessa "poeira de estrelas" é incorporada ao gás que se concentra para formar novas estrelas em algum outro lugar. Durante bilhões de anos, as gerações seguintes de estrelas — as assim chamadas estrelas de População 1, como o nosso Sol — formaram-se, e um número qualquer delas pode estar cercado por um disco giratório de gás e poeira que se concentra para formar planetas contendo elementos pesados como cálcio, carbono e ferro. É desse material que somos feitos. Cada átomo de nossos corpos foi criado há bilhões de anos na frenética fornalha de alguma estrela morta muito tempo atrás. Penso que esse é um dos mais fascinantes e poéticos fatos a respeito de nosso universo: somos todos filhos das estrelas.

Acontece que não seria muito útil se um planeta como a Terra se formasse perto de uma estrela de elevada concentração de massa. Como vimos, essas estrelas evoluem e morrem no decurso de aproximadamente 100 milhões de anos. Somente as estrelas com a

massa de nosso Sol ou menos durarão mais de 5 bilhões de anos, em uma fase estável de queima de hidrogênio. É difícil imaginar como poderia surgir vida em um planeta que orbitasse uma estrela cuja luminosidade se modificasse em escala tão grande no decurso de tal evolução. Inversamente, se uma estrela menor e menos luminosa do que nosso Sol tivesse um sistema planetário, qualquer planeta quente o suficiente para sustentar vida provavelmente teria de estar tão perto dela que seria despedaçado pela atração gravitacional. Portanto, se procuramos vida, é aconselhável procurar estrelas não muito diferentes de nosso Sol. Aliás, ele é um membro bastante comum de nossa galáxia. Cerca de 25% de todas as estrelas da Via Láctea — uns 100 bilhões delas — enquadram-se nessa faixa. A maioria delas é ainda mais velha do que o Sol, portanto, poderiam, em princípio, ter abrigado vida com uma antecedência de 4 a 5 bilhões de anos em relação ao Sol.

Mas voltemos à Terra. O que faz de nosso planeta azul-esverdeado um lugar tão especial? Em primeiro lugar, ele está na parte interna do sistema solar. Isso é importante, porque os planetas externos têm uma porcentagem de hidrogênio e hélio muito maior, muito mais próxima daquela do Sol. A maior parte dos elementos pesados do disco de gás e poeira que circundava o sistema solar em seu nascimento parece ter permanecido nessa parte interna. Portanto, pode-se esperar encontrar locais com bom potencial para a formação de vida a distâncias menores do que, digamos, a distância de Marte a uma estrela com massa de 1 Sol.

Em seguida, como Goldilocks poderia ter dito, a Terra é do jeito certo, nem muito grande nem muito pequena, nem muito fria nem muito quente. Já que os planetas internos provavelmente não possuíam atmosfera ao se formarem, esta teve de ser formada por gases produzidos por vulcões. A água na superfície da Terra também foi produzida dessa forma. Um planeta menor poderia ter irradiado calor de sua superfície com rapidez suficiente para impedir o vulcanismo. Presume-se que esse tenha sido o caso de Mercúrio e da Lua. Marte é um caso-limite, enquanto a Terra e Vênus desenvolveram atmosferas com sucesso. Recentes mensurações de isótopos de gás radioativo em rochas terrestres sugerem que, após um período inicial de bombardeio,

durante o qual a Terra foi criada pela concentração de material em queda, em um período de 100 a 150 milhões de anos ocorrido 4,5 bilhões de anos atrás, o vulcanismo produziu cerca de 85% da atmosfera em alguns poucos milhões de anos. Logo, novamente não é de surpreender que a vida orgânica tenha se formado na Terra, em vez de em algum outro planeta do sistema solar, e podemos esperar uma tendência semelhante em outros pontos da galáxia — em planetas classe M, como são chamados no universo de Jornada nas Estrelas.

A próxima pergunta é quanto tempo a vida, seguida pela vida inteligente, teria levado para evoluir, com base em nossa experiência com a Terra. A resposta à primeira parte da pergunta é: bastante rápido. Fósseis de algas azuis com cerca de 3,5 bilhões de anos já foram descobertos e diversos pesquisadores argumentam que a vida já florescia há 3,8 bilhões de anos. No decurso de algumas centenas de milhões de anos, durante o mais antigo período no qual a vida poderia ter evoluído na Terra, ela o fez. Isso é muito encorajador.

Claro, desde a época na qual a vida iniciou-se na Terra até as estruturas multicelulares complexas, e mais tarde a vida inteligente, terem evoluído, quase 3 bilhões de anos se passaram. Temos todos os motivos para crer que essa época era governada mais pela Física do que pela Biologia. Em primeiro lugar, a atmosfera original da Terra não continha oxigênio. Dióxido de carbono, nitrogênio e traços de amônia, metano, dióxido de enxofre e ácido clorídrico estavam presentes, mas não oxigênio. O oxigênio é essencial não apenas para as formas de vida orgânicas avançadas na Terra, mas também representa um outro papel importante. O ozônio só pode se formar quando existe uma quantidade suficiente de oxigênio na atmosfera. O ozônio, como estamos cada vez mais cientes, é essencial para a vida no planeta, porque filtra a radiação ultravioleta, nociva à maioria das formas de vida. Portanto, não é surpresa que a rápida explosão de vida na Terra só tenha começado depois que o oxigênio passou a existir em abundância.

Mensurações recentes indicam que o oxigênio começou a se acumular na atmosfera cerca de 2 bilhões de anos atrás, atingindo os níveis atuais 600 milhões de anos mais tarde. Mesmo tendo sido produzido antes disso pela fotossíntese das algas verde-azuladas nos

oceanos primordiais, em um primeiro momento, ele não se acumulou na atmosfera. O oxigênio reage com tantas substâncias, por exemplo, o ferro, que qualquer que fosse a quantidade produzida pela fotossíntese, ele se combinava com outros elementos antes de atingir a atmosfera. Finalmente, os materiais no oceano estavam suficientemente oxidados para que o oxigênio liberado se acumulasse na atmosfera. (Esse processo nunca ocorreu em Vênus, porque a temperatura era muito alta para formar oceanos, logo as algas verde-azuladas que formam e mantêm a vida nunca surgiram lá.)

Então, depois de as condições estarem realmente maduras para o surgimento de formas complexas de vida, estas levaram cerca de 1 bilhão de anos para evoluir. Claro, não está de forma alguma provado que essa escala de tempo é modelar. Acidentes como involuções, mudanças de clima e eventos cataclísmicos que provocaram extinções afetaram tanto a escala de tempo biológica quanto o resultado final.

Apesar de tudo, esses resultados indicam que a vida inteligente pode evoluir em um intervalo bastante curto na escala cósmica de tempo — um bilhão de anos mais ou menos. A extensão desse período de tempo tem a ver apenas com fatores físicos, tais como o calor produzido e a taxa das reações químicas. Nossa experiência terrestre sugere que mesmo se limitarmos nossas expectativas quanto à vida inteligente ao orgânico e ao aeróbico — seguramente uma suposição muito conservadora, e uma que os roteiristas de Jornada nas Estrelas gostariam de abandonar (a Horta, baseada em silício, é uma de minhas favoritas) — planetas em torno de estrelas com vários bilhões de anos e cerca de 1 massa solar são bons candidatos.

Admitindo que a formação da vida orgânica é um processo robusto e relativamente rápido, que provas temos de que seus ingredientes fundamentais — resumindo, moléculas orgânicas e outros planetas — existem em outros lugares do universo? Novamente, aqui os resultados recentes conduzem-nos a um otimismo substancial. Moléculas orgânicas já foram observadas em asteróides, cometas e no espaço interestelar. Algumas delas são moléculas complexas, incluindo aminoácidos, os tijolos com os quais a vida é construída. Mensurações feitas com microondas do gás interestelar e de grãos de poeira levaram à identificação de dúzias de compostos orgânicos,

alguns dos quais presume-se que sejam hidrocarbonetos complexos. Há poucas dúvidas de que a matéria orgânica esteja provavelmente espalhada por toda a galáxia.

Mas, afinal, e os planetas? Apesar do fato de até hoje somente uma observação direta de um sistema planetário além do nosso ter sido feita, há muito se acredita que a maioria das estrelas tem planetas em sua órbita. Certamente, uma boa parcela das estrelas observadas tem outra estrela companheira, formando os chamados sistemas binários. Além disso, muitas estrelas jovens observadas possuem discos circunstantes de poeira e gás que presumidamente são os progenitores dos planetas. Vários modelos numéricos para prever a distribuição de massas planetárias e órbitas nesses discos sugerem (e enfatizamos aqui a palavra "sugerem") que serão produzidos, em média, pelo menos um planeta como a Terra a uma distância de sua estrela correspondente àquela entre a Terra e o Sol[3]. Recentemente, um outro sistema planetário finalmente foi diretamente detectado a 1.400 anos-luz da Terra. Surpreendentemente de certa forma, o sistema observado é um dos lugares menos hospitaleiros para planetas que poderíamos imaginar: três planetas orbitando um pulsar — o núcleo remanescente de uma supernova, depois da explosão e do colapso — a uma distância menor do que aquela entre Vênus e o Sol. Esses planetas poderiam facilmente ter se formado depois, em vez de antes, da supernova, mas de qualquer forma essa descoberta indica que a formação planetária provavelmente não é rara.

3. N.R.F.C.: Há pouco tempo, foram descobertos mais três sistemas, a aproximadamente 35 anos-luz de distância, com planetas.

Não queremos perder a visão da floresta enquanto olhamos para as árvores. É quase miraculoso que as leis normais da Física e Química, combinadas com um universo em expansão com mais de 10 bilhões de anos, tenham levado à evolução de mentes conscientes que podem estudar o universo a partir do qual nasceram. Apesar de tudo, se as circunstâncias que levaram à vida em nosso planeta são especiais, elas não parecem ser peculiares à Terra. Os argumentos acima sugerem que poderiam existir com facilidade mais de um bilhão de possíveis locais para a vida orgânica em nossa galáxia. E como a Via Láctea é apenas uma entre 100 bilhões de galáxias no universo observável,

acho difícil acreditar que estejamos sós. Além disso, como notamos anteriormente, a maioria das estrelas de População 1 formou-se antes de nosso Sol, com até 5 bilhões de anos de antecedência. Dada a escala de tempo discutida acima, é provável que vida inteligente tenha evoluído em diversos lugares bilhões de anos antes de nosso Sol ter nascido. De fato, pode-se esperar que a maioria da vida inteligente da galáxia tenha existido antes de nós. Portanto, dependendo da persistência das civilizações inteligentes, a galáxia pode estar cheia de civilizações que têm estado por aí literalmente bilhões de anos antes de nós. Por outro lado, dada nossa própria história, tais civilizações podem muito bem ter enfrentado os perigos da guerra e da fome e muitas podem não ter passado dos primeiros milênios de existência; neste caso, boa parte da vida inteligente do universo já teria desaparecido há muito tempo. Como um pesquisador sabiamente colocou o problema 20 anos atrás, "A questão da existência de vida inteligente lá fora depende, em última análise, de quão inteligente é essa vida."[4]

4. OLIVER, Bernard M. "The Search for Extraterrestrial Life", *Engineering and Science*, dezembro de 1974.

Logo, como saberemos? Será que enviaremos naves estelares para explorar novos mundos, audaciosamente indo até onde nenhum homem jamais esteve? Ou seremos, em vez disso, descobertos por nossos vizinhos galácticos que assistiram às diversas séries de Jornada nas Estrelas, já que estes sinais movem-se com a velocidade da luz por toda a galáxia? Acho que não será nem uma nem outra, e estou em boa companhia.

Em primeiro lugar, vimos claramente quão audaciosas seriam as viagens espaciais interestelares. Seria necessário um dispêndio de energia maior do que nossos mais incríveis sonhos, com ou sem velocidade de dobra. Lembremos que, para impulsionar um foguete à propulsão usando motores de matéria-antimatéria a cerca de 1/4 da velocidade da luz, para uma viagem de ida e volta de 10 anos até a estrela mais próxima, necessitaríamos de uma quantidade de energia suficiente para atender ao consumo dos Estados Unidos inteiro durante mais de 100 mil anos! E isso é ninharia perto da energia que seria necessária para dobrar o espaço. Além disso, para ter uma boa

chance de encontrar vida, provavelmente gostaríamos de poder ter uma amostra de pelo menos alguns milhares de estrelas. Temo que, mesmo à velocidade da luz, isso não poderia ser feito nem no próximo milênio.

Essas são as más notícias. As boas, suponho, é que, pelos mesmos motivos, provavelmente não temos de nos preocupar muito em sermos raptados por alienígenas. Eles também avaliam as necessidades de energia e descobriram que é mais fácil aprender sobre nós à distância.

Portanto, devemos devotar nossas energias a transmitir nossa existência por ondas de rádio? Certamente isso seria muito mais barato. Podemos enviar para o sistema estelar mais próximo uma mensagem de 10 palavras que poderia ser recebida por antenas de rádio de um tamanho razoável, gastando muito menos de um dólar com eletricidade. Entretanto — e novamente utilizo um argumento do Nobel de física Edward Purcell —, se transmitirmos mais do que escutarmos, estaremos perdendo a maioria das formas de vida inteligentes. Obviamente, essas civilizações tão mais adiantadas do que nós podem transmitir sinais muito melhor do que nós. E como começamos a transmitir sinais de rádio há apenas 80 anos mais ou menos, existirão muito poucas sociedades menos adiantadas do que nós que ainda terão a tecnologia para receber nossos sinais. Logo, como minha mãe costumava dizer, devemos ouvir antes de falar. Apesar de escrever isso, de repente espero que todas essas sociedades mais avançadas não estejam pensando exatamente a mesma coisa.

Mas o que ouvimos? Se não temos idéia de qual canal sintonizar, a situação parece desesperadora. Aqui podemos ser guiados por Jornada nas Estrelas. No episódio de *A Nova Geração* "Galaxy's Child" ("A Criança da Galáxia"), a *Enterprise* topa com uma forma de vida alienígena que vive no espaço vazio, alimentando-se de energia. Ela acha particularmente saborosa a radiação com uma freqüência específica — 1.420 milhões de ciclos por segundo, com um comprimento de onda de 21 cm.

Com o espírito de Pitágoras, se houvesse uma Música das Esferas, seguramente essa seria sua tonalidade de abertura. Mil quatrocentos e vinte megahertz é a freqüência natural da precessão do giro de um elétron ao circular o núcleo atômico do hidrogênio, a matéria

dominante no universo. Essa é, por um fator de pelo menos 1.000, a mais proeminente radiofreqüência da galáxia. Além disso, ela cai precisamente na janela das freqüências que, assim como a luz visível, podem ser transmitidas e recebidas através de uma atmosfera capaz de sustentar vida orgânica. E existe muito pouco ruído de fundo nessa freqüência. Radioastrônomos têm usado essa freqüência para mapear a localização do hidrogênio na galáxia — que é sinônimo da localização de matéria —, determinando assim o seu perfil. Qualquer espécie suficientemente inteligente para saber sobre ondas de rádio e o universo conhecerá essa freqüência. É o farol universal de retorno ao lar. Há 36 anos, os astrofísicos Giuseppe Cocconi e Philip Morrison propuseram essa freqüência como a natural para se transmitir e receber, e ninguém até hoje discutiu esta conclusão.

Hollywood não apenas adivinhou a freqüência certa para ouvir, mas também ajudou a arrumar o dinheiro para realizar a escuta. Apesar de projetos de escuta em pequena escala virem sendo realizados durante mais de 30 anos, o primeiro programa abrangente e de larga escala entrou em ação no outono de 1985, quando Steven Spielberg acionou um grande interruptor de cobre que formalmente iniciou o projeto META, o Megachannel Extra Terrestrial Array (Dispositivo Megacanal Extraterrestre). Filho predileto do mago da eletrônica Paul Horowitz, da Universidade de Harvard, o META está localizado no radiotelescópio Harvard/Smithsonian de 26 metros em Harvard, Massachusetts, e é custeado por uma entidade privada, a Planetary Society, incluindo uma contribuição de US$100 mil feita pelo sr. ET em pessoa. O META usa um conjunto de 128 processadores paralelos para esquadrinhar simultaneamente 8.388.608 canais de freqüências na faixa de 1.420 MHz e sua assim chamada segunda harmônica, 2840 MHz. Mais de 5 anos de dados já foram colhidos e o META já cobriu o céu inteiro três vezes à procura de sinais extraterrestres.

Claro, é preciso ser esperto ao escutar. Primeiro, é preciso reconhecer que, mesmo se um sinal for enviado na freqüência de 1420 MHz, ele pode não ser recebido nessa freqüência. Isso se deve ao grave efeito Doppler — o apito de um trem parece mais alto (agudo) quando se aproxima e mais baixo (grave) ao se distanciar. O mesmo é

válido para toda radiação emitida por uma fonte móvel. Uma vez que a maioria das estrelas da galáxia se move com velocidades de várias centenas de quilômetros por segundo em relação a nós, não é possível ignorar o efeito Doppler. (Os roteiristas de Jornada nas Estrelas não o ignoraram; eles acrescentaram "compensadores Doppler" ao teletransporte para dar conta do movimento relativo da nave e do alvo do teletransporte.) Levando em consideração que os transmissores de qualquer sinal teriam reconhecido esse fato, o pessoal do META observou o sinal em 1420 MHz como teria parecido se viesse de um destes três referenciais: (a) um que se movesse juntamente com nosso grupo local de estrelas, (b) um que se movesse junto com o centro da galáxia, e (c) um que se movesse em conformidade com o quadro definido pelo fundo de radiação cósmica em microondas deixado pelo big bang. Note que isso facilita a distinção entre esses sinais e os sinais terrestres, porque os terrestres são emitidos em um quadro fixo na superfície da Terra, que é diferente de todos os outros quadros. Portanto, os sinais terrestres têm um "trinado" característico ao surgirem nos dados do META.

Mas o que constitui um sinal extraterrestre? Cocconi e Morrison sugeriram que olhássemos para os primeiros números ímpares: 1,3,5,7,9,11, 13.... De fato, essa é precisamente a série que Picard digita no episódio "Allegiance" ("Lealdade"), ao tentar fazer com que seus captores saibam que estão lidando com uma espécie inteligente. Os pulsos de uma tempestade na superfície de uma estrela dificilmente produziriam uma série assim. O pessoal do META procurou um sinal ainda mais simples: um tom constante e uniforme como uma freqüência fixa. Uma tal onda "transportadora" é fácil de procurar.

Horowitz e seu colaborador, o astrônomo da Cornell, Carl Sagan, fizeram um relatório com a análise dos 5 anos dos dados do META. Foram isolados 37 eventos candidatos entre 100 trilhões de sinais detectados. Entretanto, nenhum desses "sinais" jamais foi repetido. Horowitz e Sagan preferem interpretar os dados como não tendo apresentado nenhum sinal definitivo até o momento. Como resultado, eles puderam limitar o número de civilizações altamente avançadas que tentaram se comunicar conosco em diferentes distâncias de nosso Sol.

Não obstante, apesar da incrível complexidade dos esforços de procura, somente uma pequena faixa de freqüências foi na realidade explorada, e as necessidades de energia para que um sinal seja detectado pelo telescópio META são bastante altas — as civilizações teriam de usar em seus transmissores uma energia maior do que o total de energia que a Terra recebe do Sol (cerca de 10^{17} watts) para produzir um sinal detectável. Logo, ainda não há motivos para pessimismo. Escutar é uma tarefa difícil. O grupo do META está construindo um detector maior e melhor (o BETA), que deve melhorar a força de busca por um fator de 1.000.

A busca continua. O fato de ainda não termos ouvido nada não deve nos desanimar. E algo como o que meu amigo Sidney Coleman, um professor de Física em Harvard, me disse sobre comprar uma casa: não devemos desanimar se olharmos 100 e não encontrarmos nada. Basta olhar para uma.... Um único e definitivo sinal, por mais improvável que seja a possibilidade de ouvirmos, mudaria nossa maneira de pensar a respeito do universo e anunciaria o início de uma nova era na evolução da raça humana.

E para aqueles pouco alegres com a idéia de que nosso primeiro contato com civilizações extraterrestres não será feito através de uma visita em nossas espaçonaves, lembrem-se dos citerianos, uma civilização muito avançada encontrada pela *Enterprise* que fez contatos com outras civilizações, não viajando pelo espaço, mas atraindo os viajantes espaciais até eles. De certa forma, é exatamente isso que estamos fazendo ao ouvir os sinais das estrelas.

9 UM LEQUE DE POSSIBILIDADES

“Esta é toda a exploração que o espera! Não catalogar estrelas e estudar nebulosas, mas mapear as possibilidades desconhecidas da existência."

Q para Picard, em "All Good Things..." ("Todas as Coisas Boas...")

Durante os mais de 13 anos de apresentação das séries de Jornada nas Estrelas na TV, os roteiristas tiveram a oportunidade de lidar com as mais interessantes idéias de diversos campos da Física. Às vezes eles acertaram, às vezes erraram. Às vezes usaram apenas as palavras empregadas pelos físicos, e às vezes incorporaram as idéias associadas a elas. Os tópicos com os quais eles lidaram são como uma revisão da Física moderna: relatividade especial, relatividade geral, cosmologia, física de partículas, viagens no tempo, dobra espacial e flutuações quânticas, entre outros.

Neste penúltimo capítulo, penso que seria útil fazer uma breve apresentação de algumas das idéias mais interessantes da física moderna que foram utilizadas pelos roteiristas de Jornada nas Estrelas em especial, conceitos que ainda não foram mencionados neste livro. Devido à diversidade dessas idéias, sua exposição será feita em forma de glossário, sem qualquer ordem ou tema em particular. No último capítulo, seguirei um formato similar para apresentar os mais grosseiros erros cometidos pelo seriado, escolhidos por mim, por alguns de meus colegas físicos e por diversos *trekkers*. Em ambos os capítulos, a lista foi restrita a 10 exemplos, embora existam muitos mais.

A ESCALA DA GALÁXIA E DO UNIVERSO: Nossa galáxia é o palco onde o drama de Jornada nas Estrelas é encenado. Ao longo das séries, diversos tipos de escalas de distância galáctica representam um papel importantíssimo na ação. Critérios de medida como UA (de Unidade Astronômica: 1 UA equivale a cerca de 150 milhões de quilômetros, a distância entre a Terra e o Sol), usado para descrever o

tamanho da nuvem Vger no primeiro filme de Jornada nas Estrelas para o cinema, e anos-luz circulam livremente. Além disso, são propostas diversas características de nossa galáxia, incluindo uma "Grande Barreira" no centro *(Jornada nas Estrelas V — A Ultima Fronteira)* e na série clássica, uma "barreira galáctica" no seu limiar (cf. "Where No Man Has Gone Before" ["Onde Nenhum Homem Jamais Esteve"], "By Any Other Name" ["Por um Outro Nome"] e "Is There in Truth No Beauty" ["A Verdade Crua"]) Parece apropriado portanto, para descrever o campo no qual a ação de Jornada nas Estrelas tem lugar, oferecer nosso próprio quadro atual da galáxia e suas circunvizinhanças e as escalas de distância do universo.

Devido ao enorme número de algarismos necessário, raramente expressamos distâncias astronômicas em unidades convencionais, tais como milhas ou quilômetros. Em vez disso, os astrônomos criaram diversas formas de medida que são mais apropriadas. Uma delas é a UA, a distância entre a Terra e o Sol. Essa é a escala de distância característica do sistema solar, com Plutão estando a cerca de 40 UA do Sol. Em *Jornada nas Estrelas: O Filme*, a nuvem Vger é descrita como tendo 82 UA de diâmetro, o que é bastante grande — maior, de fato, do que o nosso sistema solar!

Para comparações com distâncias interestelares, é útil expressar a UA em termos do tempo que a luz do Sol (ou a *Enterprise* viajando em dobra 1) leva para chegar à Terra —, cerca de 8 minutos. (Esse deveria ser o tempo que a luz de suas respectivas estrelas levaria para chegar à maioria dos planetas classe M.) Logo, pode-se dizer que uma UA equivale a 8 minutos-luz. Por comparação, a distância até a estrela mais próxima, Alfa Centauri — um sistema estelar binário onde o inventor da dobra espacial, Zefram Cochrane, aparentemente morou — fica a cerca de 4 anos-luz! Essa é a distância característica entre as estrelas de nossa região da galáxia. Foguetes, com sua velocidade atual, levariam 10 mil anos para ir daqui até Alfa Centauri. Em dobra 9, o que é aproximadamente 1.500 vezes mais rápido que a luz, bastariam perto de 6 horas para se percorrer 1 ano-luz.

A distância do Sol até o centro da galáxia é de aproximadamente 25 mil anos-luz. Em dobra 9, seriam necessários quase 15 anos para percorrer essa distância, portanto é improvável que Sybok, no

comando da *Enterprise,* tenha podido levá-la até o centro da galáxia como fez em *Jornada nas Estrelas V — A Última Fronteira,* a menos que a *Enterprise* essencialmente já estivesse lá.

A Via Láctea é uma galáxia em espiral, com um enorme disco central de estrelas. Seu diâmetro é de cerca de 100 mil anos-luz e sua profundidade é de alguns milhares de anos-luz. A *Voyager*, lançada a 70 mil anos-luz da Terra no primeiro episódio daquela série, de fato estaria no outro lado da galáxia. Em dobra 9, a nave levaria quase 50 anos para retornar às vizinhanças de nosso Sol.[1]

1. N.R.F.C.: Na série *Voyager,* calcula-se em cerca de 75 anos o tempo necessário para retornar.

No centro de nossa galáxia, há uma grande bolha galáctica — um denso aglomerado de estrelas — com milhares de anos-luz de diâmetro. Acredita-se que abrigue um buraco negro de cerca de 1 milhão de vezes a massa do Sol. Buracos negros cuja massa varia de 100 mil a mais de 1 bilhão de vezes a massa do Sol provavelmente são encontrados no centro de diversas outras galáxias.

Um halo quase esférico de estrelas muito antigas envolve a galáxia. Acredita-se que os conglomerados de milhares de estrelas, chamados de aglomerados globulares, encontrados ali estejam entre os objetos mais antigos da galáxia, talvez com até 18 bilhões de anos, segundo nossos métodos atuais de datação — mais antigos ainda do que o "aglomerado negro" mencionado no episódio "Hero Worship" ("Culto ao Herói"), que tinha 9 bilhões de anos. Imagina-se que um halo esférico ainda mais antigo composto de "matéria escura" (sobre a qual falaremos mais tarde) também envolva a galáxia. Esse halo é invisível a todos os tipos de telescópios e sua existência é deduzida a partir da movimentação das estrelas e nuvens de gás na galáxia, e pode conter 10 vezes mais massa do que a galáxia observável.

A Via Láctea é uma galáxia em espiral de tamanho médio, contendo algumas centenas de bilhões de estrelas. Há aproximadamente 100 bilhões de galáxias no universo observável, cada uma contendo mais ou menos esse mesmo número de estrelas! Das galáxias que podemos ver, perto de 70% são espirais, o restante tem formas algo esféricas chamadas elípticas. As maiores são as elípticas gigantes, cuja massa é mais de 10 vezes maior do que a da

Via Láctea.

A maioria das galáxias está aglomerada em grupos. Em nosso grupo local, as galáxias mais próximas da Via Láctea são pequenas galáxias satélite que orbitam a nossa. Esses objetos, observáveis do Hemisfério Sul, são chamados de Nuvens de Magalhães (Grande e Pequena). A galáxia de grande porte mais próxima, Andrômeda, fica a 6 milhões de anos-luz — lar dos kelvans, que tentaram tomar a *Enterprise* e retornar a ela no episódio da série clássica "By Any Other Name" ("Por um Outro Nome"). Em dobra 9, essa viagem levaria aproximadamente 4 mil anos!

Devido ao tempo que a luz leva para viajar, à medida que observamos objetos mais longínquos, também retrocedemos cada vez mais no tempo. O mais longe que podemos observar atualmente com sensores eletromagnéticos nos leva de volta a um tempo em que o universo tinha cerca de 300 mil anos de idade. Antes disso, a matéria existia como gás quente e ionizado, opaco à radiação eletromagnética. Ao olharmos em todas as direções, vemos a radiação emitida quando a matéria e a radiação finalmente se "desacoplam". Isso é conhecido como radiação cósmica de fundo. Ao observá-la, mais recentemente com o satélite COBE lançado pela NASA em 1989, obtemos uma imagem de como o universo era quando tinha apenas 300 mil anos de idade.

Para finalizar, o universo está se expandindo uniformemente. O resultado disso é que observamos as galáxias mais distantes retrocedendo em relação a nós — e quanto mais longe estiverem, mais depressa retrocedem, em uma razão diretamente proporcional à sua distância de nós. Essa razão de expansão, caracterizada por uma quantificação chamada de constante de Hubble, é tal que galáxias localizadas a 10 milhões de anos-luz da nossa retrocedem a uma velocidade média de 150 a 300 quilômetros por segundo. Invertendo essa situação se olharmos para trás, descobriremos que todas as galáxias observadas no universo convergiam para um mesmo ponto há cerca de 10 ou 20 bilhões de anos, à época do big bang.

MATÉRIA ESCURA: Como dissemos anteriormente, nossa galáxia aparentemente está imersa em um vasto mar de material

invisível.[2] Ao estudar o movimento das estrelas, das nuvens de hidrogênio e mesmo das Nuvens de Magalhães (Grande e Pequena) em torno do centro da galáxia, e usando as leis de Newton que relacionam a velocidade do objeto em órbita com a massa que os atrai, foi determinado que existe um halo quase esférico de matéria escura que se estende por uma distância até 10 vezes maior do que a do Sol ao centro da Via Láctea. Esse material contém pelo menos 90% da massa da galáxia. Além disso, ao observarmos o movimento de outras galáxias, incluindo as elípticas, e também o movimento dos grupos de galáxias, descobrimos que existe mais matéria associada a esses sistemas do que conseguimos explicar com base no material observável. Portanto, o universo observável inteiro parece ser dominado pela matéria escura. Acredita-se atualmente que algo entre 90% a 99% da massa do universo seja composto desse material.

2. Para uma clara apresentação deste tema, sugiro meu próprio livro: *The Fifth Essence: The Search for Dark Matter in the Universe* (New York: Basic Books, 1989.)

O conceito de matéria escura foi utilizado tanto na série *A Nova Geração* quanto na *Voyager*, e de uma maneira divertida. Por exemplo, no episódio "Cathexis" da série *Voyager*, a nave entra em uma "nebulosa de matéria escura" que, como podemos imaginar, é como uma nuvem escura, logo não é possível ver nada. A *Enterprise* já havia encontrado objetos similares, incluindo o "aglomerado negro" mencionado antes. Entretanto, o fato a salientar sobre a matéria escura não é que ela seja opaca à luz, mas sim que ela não brilhe — isto é, não emita radiação — nem sequer absorva quantidades significativas de radiação. Se o fizesse, seria detectável pelos telescópios. Se estivéssemos dentro de uma nuvem de matéria escura, como provavelmente estamos, nós nem mesmo a veríamos.

A questão da natureza, origem e distribuição de matéria escura provavelmente é um dos mais excitantes enigmas da cosmologia atual. Dado que esse material desconhecido domina a densidade de massa do universo, sua distribuição deve ter determinado como e quando a matéria observável entrou em colapso gravitacional para criar os aglomerados galácticos, galáxias, estrelas e planetas que fazem o universo tão interessante para nós. Nossa própria existência diretamente depende desse material. Além disso, a quantidade de

matéria escura no universo determinará o destino final do universo: se ele terminará em uma implosão ou em um sibilar infinito (continuando a se expandir mesmo depois que as estrelas se apaguem), isso dependerá de quanta matéria — de qualquer espécie — ele contém, uma vez que a atração gravitacional é o que retarda a expansão.

Ainda mais interessantes são os fortes argumentos de que a matéria escura pode ser composta de partículas completamente diferentes dos pró-tons e nêutrons que compõem a matéria normal. Limites independentes relativos à quantidade de matéria normal no universo, baseados no cálculo das taxas de reações nucleares no universo primordial e na subseqüente formação de elementos leves, sugerem que pode não haver prótons e nêutrons suficientes para compor a matéria escura que circunda as galáxias e os aglomerados.

Além disso, parece que, para as pequenas flutuações na distribuição inicial de matéria terem entrado em colapso no plasma quente do universo primordial, a fim de formar as galáxias e aglomerados que observamos hoje, algum novo tipo de partícula elementar — de uma espécie que não interage com a radiação eletromagnética — teria de estar envolvido. Se a matéria escura de fato é feita de algum novo tipo de partículas elementares, então:

(a) a matéria escura não só "está lá fora", ela está nesta sala enquanto você lê este livro, passando imperceptivelmente através de seu corpo. Essas exóticas partículas elementares não se aglomerariam em objetos astronômicos; elas formariam um "gás" difuso que atravessaria a galáxia. Dado que sua interação com a matéria é, na melhor das hipóteses, muito fraca, ela poderia traspassar objetos tão grandes quanto a Terra. De fato, exemplos dessas partículas já existem na natureza, em especial os neutrinos (partículas que devem ser familiares aos *trekkers*, e que discutiremos mais adiante).

(b) a matéria escura pode ser detectada diretamente aqui na Terra, utilizando-se técnicas sofisticadas de detecção de partículas elementares. Vários detectores desenhados com sensibilidade para os diversos candidatos à matéria escura estão sendo construídos atualmente.

(c) a detecção de tais partículas pode revolucionar a física das partículas elementares. É bastante provável que esses objetos sejam

remanescentes de processos de produção do universo realmente primitivo, muito antes de ele ter 1 segundo de idade, e, portanto, seriam relacionados com a Física em escalas de energia comparáveis ou até além daquelas que podemos sondar diretamente por meio do uso de modernos aceleradores.

Claro, por mais excitante que seja essa possibilidade, ainda não estamos seguros de que a matéria escura não possa ser composta por elementos menos exóticos. Existem muitas formas de juntar prótons e nêutrons para que eles brilhem. Por exemplo, se enchêssemos a galáxia com bolas de neve ou pedregulhos, eles dificilmente seriam detectados. Talvez a possibilidade mais plausível para esse cenário é a de que existam muitos objetos na galáxia que são quase grandes o suficiente para ser estrelas, mas pequenos demais para que as reações nucleares comecem a acontecer em seus núcleos. Esses objetos são conhecidos como as estrelas anãs marrons, e Data e seus colegas a bordo da *Enterprise* já os discutiram (por exemplo, em "Manhunt" ["Caçada Humana"].) De fato, existem experiências interessantes acontecendo neste exato momento para descobrir se as estrelas anãs marrons — conhecidas neste contexto como MACHOS (Massive Astrophysical Compact Halo Objects — Objetos Astrofísicos Maciços de Halo Compacto) são um componente significativo do halo de matéria escura que envolve a Via Láctea. Mesmo não sendo diretamente observáveis, se um desses objetos passasse em frente a uma estrela, sua luz seria afetada pela gravidade dos MACHOS

de maneira tal que a estrela pareceria mais brilhante. Esse fenômeno de "lente gravitacional" foi previsto em primeiro lugar por Einstein nos anos 30, e agora temos a tecnologia para detectá-lo. Diversas experiências observam literalmente milhões de estrelas em nossa galáxia a cada noite para verificar se esse fenômeno de lente acontece. A sensibilidade é suficiente para detectar a matéria escura dos MACHOS, se de fato eles compõem a maior parte da matéria escura que envolve nossa galáxia. Dados preliminares determinaram limites máximos que tendem a sugerir que o halo de matéria escura não é composto por MACHOS, mas a questão permanece aberta.

ESTRELAS DE NÊUTRONS: Como nos recordamos, esses

objetos são compostos pelo que sobrou dos núcleos de estrelas com enormes quantidades de massa que entraram em colapso depois da explosão da supernova. Apesar de elas normalmente conterem uma massa pouco maior do que a do nosso Sol, são tão comprimidas que seu tamanho não ultrapassa o da ilha de Manhattan! Uma vez mais, os roteiristas de Jornada nas Estrelas se superaram no departamento de nomenclatura. Diversas vezes a *Enterprise* encontrou material expelido de uma estrela de nêutrons, material este que os roteiristas resolveram batizar de "neutrônio". Dado que as estrelas de nêutrons são quase que inteiramente compostas de nêutrons tão comprimidos uns contra os outros que a estrela basicamente é um enorme núcleo atômico, o nome é bom. A máquina do juízo final no episódio "Doomsday Machine" ("A Página de Destruição") aparentemente era feita de neutrônio puro, motivo pelo qual era impermeável às armas da Federação. Entretanto, para esse material permanecer estável, ele precisa estar sob a incrível pressão criada pela atração gravitacional de uma massa de material estelar cujo raio é de apenas 15 quilômetros. No mundo real, esse material existe apenas como parte de uma estrela de nêutrons.

A *Enterprise* realizou diversas missões perto de estrelas de nêutrons. No episódio "Evolution" ("Evolução"), quando os nanitas começaram a comer os computadores da nave, a tripulação estava estudando uma estrela de nêutrons que aparentemente estava prestes a surgir à medida que sugava material. No episódio "The Masterpiece Society" ("A Sociedade Perfeita"), a *Enterprise* precisa desviar um fragmento do núcleo de uma estrela que ia em direção a Moab IV.

Sem dúvida, existem milhões de estrelas de nêutrons na galáxia. A maioria delas nasce contendo campos magnéticos incrivelmente grandes. Se estiverem girando com rapidez, são excelentes faróis sinalizadores de rádio. A radiação é emitida de cada um de seus pólos e, se o campo magnético não estiver alinhado com o eixo de rotação, um farol rotativo é criado. Na Terra, detectamos essas periódicas erupções de ondas de rádio, cujas fontes são chamadas de pulsars. Girando no espaço, elas são os melhores relógios do universo. Os sinais do pulsar podem manter a marcação de tempo com precisão maior do que um microssegundo ao ano. Além disso, alguns pulsars

produzem mais de mil pulsos por segundo. Isso significa que o objeto, que essencialmente é um enorme núcleo atômico com a massa do Sol e um diâmetro de 10 ou 20 quilômetros, gira em torno de seu eixo mais de mil vezes por segundo. Pensemos sobre isso. A velocidade de rotação na superfície de uma estrela de nêutrons é, portanto, quase metade da velocidade da luz! Pulsars são um exemplo do fato de que a natureza produz objetos muito mais notáveis do que qualquer roteirista de Jornada nas Estrelas conseguiria inventar.

OUTRAS DIMENSÕES: Ao observarmos James T. Kirk sair e retornar a este universo em "The Tholian Web" ("A Teia"), descobrimos que a causa é uma "interfase espacial" conectando brevemente diferentes planos dimensionais que compõem "universos paralelos". Duas vezes antes na série, Kirk encontrou universos paralelos um feito de antimatéria em "The Alternative Factor" ("O Fator Alternado") e o outro acessado via teletransporte, em "Mirror, Mirror" ("O Espelho"). Em *A Nova Geração,* temos o Q-contínuo, a "janela para outras dimensões" de tempo não-linear do dr. Paul Manheim e, é claro, o próprio subespaço com infinitas dimensões, nas quais alienígenas como os que raptaram o tenente Riker em "Schisms" ("Cismas") podem se esconder.

A idéia de que de alguma maneira as quatro dimensões de tempo e espaço nas quais vivemos não são tudo o que existe mantém-se com grande tenacidade na consciência popular. Recentemente, um psiquiatra de Harvard escreveu um livro de sucesso (que aparentemente lhe trouxe problemas com a Faculdade de Medicina) no qual relatou suas análises de diversos pacientes, todos afirmando que haviam sido raptados por alienígenas. Em uma entrevista, quando perguntado de onde os alienígenas vinham e como haviam chegado aqui, ele teria sugerido: "De outra dimensão".

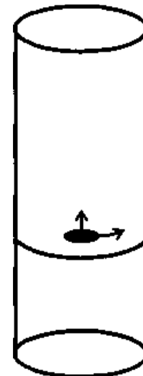
Esse caso de amor com outras dimensões sem dúvida tem sua origem na teoria da relatividade especial. Uma vez que o espaço tridimensional estava ligado ao tempo para formar o espaço-tempo de Hermann Minkowski, seria natural supor que o processo poderia continuar. Além disso, dado que a relatividade geral demonstra que aquilo que percebemos como força da gravidade pode estar associado

à curvatura do espaço-tempo, não é absurdo especular que talvez outras forças possam estar associadas à curvatura também em outras dimensões.

Entre os primeiros a especular sobre essa idéia estão o físico polonês Theodor Kaluza em 1919 e, de maneira independente, o físico sueco Oskar Klein em 1926. Eles propuseram que o eletromagnetismo poderia ser unificado com a gravidade em um universo de cinco dimensões. Talvez a força eletromagnética esteja relacionada a uma "curvatura" em uma quinta dimensão, assim como a força gravitacional está relacionada à curvatura no espaço-tempo de quatro dimensões.

Essa é uma idéia muito boa, mas apresenta seus problemas. De fato, em qualquer cenário no qual consideremos uma dimensão extra no universo, é preciso *explicar por que não experimentamos essa dimensão assim como experimentamos o espaço e o tempo.* A resposta a essa questão é muito importante, porque surge inesperadamente sempre que os físicos consideram a possibilidade de outras dimensões, existindo no universo.

Tomemos como exemplo um cilindro e um besouro, inteligente. Enquanto a circunferência do cilindro for grande, se comparada ao tamanho do besouro, este poderá se mover ao longo de ambas as dimensões, sentindo que se arrasta sobre uma superfície bidimensional.



Entretanto, se a circunferência do cilindro for muito pequena, então, do ponto de vista do besouro ele está se movendo em um objeto unidimensional — isto é, em uma cordinha — e só poderá ir para cima

ou para baixo:



Agora, pensemos em como esse besouro realmente poderia descobrir que existe uma outra dimensão correspondente à circunferência do cilindro. Com um microscópio, ele pode deduzir a largura da "cordinha". Entretanto, o comprimento de onda da radiação necessária para resolver tamanhos tão pequenos teria de ser da ordem do diâmetro do cilindro ou menor, pois, como notamos no Capítulo 5, as ondas são refletidas apenas por objetos que sejam pelo menos comparáveis a seu comprimento de onda. Uma vez que a energia da radiação diminui, seria necessária uma certa radiação mínima para resolver essa "dimensão extra".

Se de alguma forma a quinta dimensão fosse "enrolada" em um pequeno círculo, então, a menos que focalizássemos uma grande energia em um pequeno ponto, não seríamos capazes de enviar ondas através dela para sondar sua existência, e o mundo continuaria a nos perceber como tendo efetivamente quatro dimensões. Afinal, sabemos que o espaço é tridimensional, porque podemos sondá-lo com ondas viajando em todas as três dimensões. Se as únicas ondas que podem ser enviadas à quinta dimensão têm muito mais energia do que podemos produzir, mesmo usando aceleradores de alta energia, então não podemos experimentar essa dimensão extra.

Apesar desse interesse intrínseco, a teoria de Kaluza-Klein não pode ser completa. Em primeiro lugar, ela não explica por que a quinta dimensão estaria enrolada em um pequeno círculo. Segundo, agora sabemos da existência de duas outras forças fundamentais da natureza, além do eletromagnetismo e da gravidade — as forças

nucleares fortes e fracas. Por que parar em uma quinta dimensão? Por que não incluir dimensões extras em número suficiente para conciliar todas as forças fundamentais?

De fato, a moderna física de partículas levantou exatamente essa possibilidade. Os esforços modernos, centrados na assim chamada teoria da supercorda, destinavam-se inicialmente a estender a teoria da relatividade geral de maneira que uma teoria quântica da gravidade consistente pudesse ser construída. Entretanto, no final, o objetivo de uma teoria unificada de todas as interações ressurgiu.

Já observei os desafios enfrentados no desenvolvimento de uma teoria na qual a relatividade geral seja consistente com a mecânica quântica. A dificuldade-chave nesse esforço é tentar entender como manipular as flutuações quânticas no espaço-tempo. Na teoria de partícula elementar, excitações quânticas em campo — o campo elétrico, por exemplo —, são manifestadas como partículas elementares, ou quanta. Se tentarmos entender excitações quânticas no campo gravitacional — o que, na relatividade geral, corresponde a agitações quânticas de espaço-tempo — a matemática leva a previsões sem sentido.

O avanço da teoria de cordas era supor que, em níveis microscópicos típicos de escalas muito reduzidas (10^{-33} cm), no qual os efeitos gravitacionais quânticos podem ser importantes, o que imaginamos como partículas elementares em forma de ponto na realidade poderia ser resolvido como cordas vibrando. A massa de cada partícula de alguma maneira corresponde à energia de vibração dessas cordas.

O motivo de fazer uma proposta tão estranha é que, já em 1970, fora descoberto que essa teoria requer a existência de partículas com as propriedades que a excitação quântica no espaço-tempo — conhecida como gravitons — deveria ter. Portanto, em certo sentido, a relatividade geral está apoiada na teoria de uma forma que pode ser consistente com a mecânica quântica.

Entretanto, uma teoria quântica das cordas não pode ser matematicamente elaborada em quatro dimensões, nem em cinco ou mesmo em seis. Acontece que essas teorias podem existir consistentemente apenas em 10 dimensões, ou talvez somente em 26!

De fato, o tenente Reginald Barclay, ao possuir momentaneamente um QI de 1.200 depois de atingido por uma sonda citeriana, manteve um bom debate com Albert Einstein no holodeck sobre qual dessas duas possibilidades seria mais palatável para incorporar a mecânica quântica na relatividade geral.

Essa pletora de dimensões pode parecer um embaraço, mas foi rapidamente reconhecido que, como muitos embaraços, este também apresentava uma oportunidade. Talvez todas as forças fundamentais da natureza pudessem ser incorporadas em uma teoria de 10 dimensões ou mais, na qual todas as dimensões menos as quatro que conhecemos, iriam se enrolar em círculos com diâmetros da ordem da escala de Planck (10^{-33} cm), como o tenente Barclay supôs que fosse necessário — e, portanto, hoje são incomensuráveis.

Infelizmente, essa grande esperança não se revelou mais do que apenas isso. Atualmente, não temos a menor idéia da possibilidade das propostas de uma teoria da corda conseguir produzir uma Teoria Unificada de Tudo. E mais: assim como na teoria de Kaluza-Klein, ninguém tem uma noção clara de por que as outras dimensões, se elas existem, iria se enrolar deixando o espaço-tempo de quatro dimensões em grandes escalas.

Logo, a moral da história é sim, pode haver dimensões extras no universo. De fato, existem hoje motivos para esperar que isso ocorra. Mas essas dimensões extras não são da espécie que pode abrigar alienígenas que, por sua vez, poderiam raptar pacientes psiquiátricos (ou o comandante Riker, no caso). Elas não são "universos paralelos". Também não podem ser confundidas com as quatro dimensões do espaço-tempo, de maneira que permitam que objetos se movam de um lugar a outro do espaço passando através de uma outra dimensão, como o "subespaço" parece permitir no universo de Jornada nas Estrelas.

Apesar disso, não podemos excluir a possibilidade de que podem existir "pontes" microscópicas ou até macroscópicas ligando-nos a universos paralelos que sem elas não contataríamos. É certo que, na relatividade geral, as regiões de acentuada curvatura — no interior de um buraco negro ou de um buraco de minhoca — podem ser pensadas como unindo regiões possivelmente muito grandes do espaço-tempo

que de outra forma não atingiríamos. Não sei de motivo algum para esperar que fenômenos como esse ocorram fora de buracos negros e buracos de minhoca, mas uma vez que não se pode excluir sua possibilidade, suponho que as naves da Federação ficam livres para continuar a encontrá-los.

ÂNIONS: No episódio "The Next Phase" ("A Próxima Fase") de *A Nova Geração*, uma confusão do teletransporte, com um novo dispositivo de camuflagem romulano que coloca a matéria "fora de fase" com outra matéria, causa o desaparecimento de Geordi LaForge e Ro Laren. Eles são dados como mortos e permanecem invisíveis e incomunicáveis até que Data modifica um "emissor de ânions" com outros propósitos e miraculosamente os coloca "em fase" novamente.

Se os roteiristas de Jornada nas Estrelas nunca ouviram falar de ânions, e estou inclinado a apostar que nunca ouviram mesmo, sua tendência para tirar do nada nomes apropriados é verdadeiramente um espanto. Ânions são construções teóricas propostas e batizadas pelo meu amigo Frank Wilczek, um físico do Instituto de Estudos Avançados de Princeton, e seus colaboradores. Incidentalmente, ele também inventou outra partícula — uma candidata à matéria escura que ele batizou de axion, por causa de um detergente de lavanderia. "Chips axiônicos" também pululam por Jornada nas Estrelas, como parte da rede neural de uma máquina avançada. Mas estou me desviando do assunto.

No espaço tridimensional no qual vivemos, as partículas elementares são chamadas de férmions e bósons, dependendo de seu "spin". Associa-se a cada variedade de partícula elementar um número quântico que expressa o valor de seu spin. Esse número pode ser um número integral (0,1,2,...) ou não (1/2, 3/2, 5/2 etc.) Partículas com spin integral são chamadas de bósons, e aquelas cujo spin não o é são chamadas de férmions. O comportamento mecânico quântico de férmions e bósons, é diferente: quando dois férmions idênticos são intercambiados, a função de onda mecânica quântica que descreve suas propriedades é multiplicada por -1, enquanto em um intercâmbio de bósons nada acontece à função de onda. Portanto, dois férmions nunca poderiam estar no mesmo lugar, pois, se estivessem, seu

intercâmbio deixaria a configuração idêntica, mas a função de onda teria de ser multiplicada por -1, e a única grandeza que pode ser multiplicada por -1 e permanecer a mesma é 0. Logo, a função de onda precisa desaparecer. Essa é a origem do famoso princípio de exclusão de Pauli —, originalmente aplicado a elétrons —, que afirma que dois férmions idênticos não podem ocupar o mesmo estado mecânico quântico.

De qualquer modo, acontece que, se permitirmos que partículas se movam apenas em duas dimensões — como os seres bidimensionais encontrados pela *Enterprise* (veja o próximo item) são forçados a fazer, ou ainda mais importante, como acontece na realidade quando configurações atômicas em um cristal são arranjadas de forma tal que os elétrons, digamos, viajam somente em um plano bidimensional —, as regras padrões da mecânica quântica aplicáveis ao espaço tridimensional são modificadas. O spin não é mais quantificado e as partículas podem carregar qualquer valor para essa quantidade. Logo, em vez de férmions e bósons pode-se ter ânions. Essa é a origem do nome e a idéia que Wilczek e outros exploraram.

Mas retornando aos roteiristas de Jornada nas Estrelas: o que acho divertido é que o número pelo qual a função de onda das partículas é multiplicada quando as partículas são intercambiadas é chamado de "fase". Funções de onda de férmions são multiplicadas por uma fase de -1 enquanto as dos bósons são multiplicadas por uma fase de 1, e logo permanecem as mesmas. Os ânions são multiplicados por uma combinação de 1 com um número imaginário (números imaginários são as raízes quadradas de números negativos) e, portanto, realmente estão "fora de fase" com as partículas normais. Portanto, parece apropriado achar que um "emissor de ânions" mudaria a fase de alguma coisa, não?

CORDAS CÓSMICAS-. No episódio "The Loss" ("A Perda") de *A Nova Geração*, a tripulação da *Enterprise* encontra seres bidimensionais que se perderam. Esses seres vivem em um "fragmento de cordas cósmicas". No episódio, isso é descrito como um filamento infinitamente fino no espaço, com uma atração gravitacional muito forte e vibrando em um conjunto de freqüências características do

"subespaço".

Durante uma mudança no estado físico da matéria — como a fervura ou, digamos, o congelamento da água —, a configuração das partículas que a compõem se modifica. Ao congelar, a água forma uma estrutura cristalina. Como os cristais alinhados em diversas direções crescem, eles podem se encontrar para formar linhas ao acaso, criando os padrões que parecem tão bonitos em uma janela durante o inverno. Durante a transição de fase no universo primordial, a configuração da matéria, radiação e espaço vazio (que, lembramos, pode carregar energia) também se modifica. Às vezes, durante essas transições, diversas regiões do universo assumem diferentes configurações. A medida que essas crescem, elas também podem eventualmente se encontrar — às vezes em um ponto, às vezes ao longo de uma linha, demarcando os limites entre as regiões. A energia fica aprisionada dentro dessa linha delimitadora e forma o que chamamos de corda cósmica.

Não sabemos se as cordas cósmicas foram realmente criadas no universo primordial, mas se foram e duraram até agora, podem produzir alguns efeitos fascinantes. Elas seriam infinitamente finas — mais delgadas do que um próton —, mas a densidade de sua massa seria enorme, algo como um bilhão de toneladas por centímetro. Elas podem ser as sementes em torno das quais a matéria se concentra para formar galáxias, por exemplo. Elas também "vibrariam", produzindo não harmônicos subespaciais, mas ondas gravitacionais. De fato, pode-se detectar a assinatura da onda gravitacional de uma corda cósmica antes mesmo de se poder observar a corda propriamente dita.

Mas as semelhanças com a corda de Jornada nas Estrelas acabam aí. Com relação às diferenças, devido à maneira como são formadas as cordas cósmicas, elas não podem existir em fragmentos. Elas precisam existir ou em círculos fechados ou como uma única e longa corda que atravessa o universo. Além disso, apesar de sua grande densidade de massa, as cordas cósmicas não exercem força gravitacional sobre objetos distantes. Somente se a corda cósmica passar por um objeto é que este experimentará uma súbita atração gravitacional. Mas esses são pontos sutis; de maneira geral, os roteiristas de Jornada nas Estrelas se saíram muito bem com as cordas cósmicas.

AS MEDIDAS QUÂNTICAS: Há um episódio maravilhoso no final da série *A Nova Geração*, chamado "Parallels" ("Paralelos") no qual Worf salta entre diferentes "realidades quânticas". Esse episódio toca, ainda que incorretamente, em um dos mais fascinantes aspectos da mecânica quântica — a teoria da medida quântica.

Uma vez que vivemos em uma escala na qual os fenômenos da mecânica quântica não podem ser diretamente observados, todo o nosso quadro físico intuitivo do universo tem um caráter clássico. Quando discutimos a mecânica quântica, geralmente utilizamos uma linguagem clássica para conseguirmos experimentar e tentar explicar o mundo da mecânica quântica em termos compreensíveis. Essa abordagem, usualmente conhecida como "a interpretação da mecânica quântica" e que tanto fascina alguns filósofos da ciência, é obscura. O que realmente deveríamos estar discutindo é "a interpretação da mecânica clássica", — isto é, como o mundo clássico que vemos e que é apenas uma aproximação da realidade subjacente, cuja natureza por sua vez é mecanicamente quântica, pode ser expresso em termos das variáveis apropriadas da mecânica quântica?

Se insistirmos em interpretar os fenômenos da mecânica quântica nos termos dos conceitos clássicos, é inevitável que encontremos fenômenos que parecerão paradoxais ou impossíveis. E é assim que deve ser. A mecânica clássica não pode dar conta adequadamente de fenômenos da mecânica quântica, portanto, não há motivos pelos quais as descrições clássicas devam fazer sentido.

Estabelecida essa condição, descreveremos as questões relevantes em termos da mecânica clássica, porque esses termos são as únicas ferramentas de linguagem de que dispomos. Mesmo com todos os termos matemáticos apropriados para descrever a mecânica quântica, como todos os físicos, nosso único recurso é uma imagem mental clássica, porque toda a nossa experiência é clássica.

Conforme mencionamos no Capítulo 5, uma das mais notáveis características da mecânica quântica é a de não se poder afirmar que os objetos observados como possuidores de alguma propriedade tivessem essa propriedade no instante anterior à observação. O processo de observação pode mudar o caráter do sistema físico que

está sendo observado. A função de onda mecânica quântica de um sistema descreve completamente a configuração desse sistema a qualquer tempo, e essa função de onda se desenvolve de acordo com as leis determinísticas da Física. Mas o que faz as coisas parecerem tão estranhas é que essa função de onda pode abarcar duas ou mais configurações mutuamente exclusivas ao mesmo tempo.

Por exemplo, se uma partícula gira no sentido horário, dizemos que seu spin é "para cima". Se ela gira no sentido anti-horário, dizemos que ele é "para baixo". Mas a função de onda mecânica quântica dessa partícula pode incorporar uma soma com probabilidades iguais: spin para cima e para baixo. Se medirmos o sentido do giro, mediremos *tanto* o spin para cima *quanto* o para baixo. Depois das medições, a função de onda da partícula incluirá, a partir de então, somente o componente determinado como existente pela observação; se medirmos o spin para cima, continuaremos a medir esse mesmo valor para essa partícula.

Esse quadro apresenta problemas. Como, pode-se perguntar, a partícula conseguiria ter tanto o spin para baixo quanto o para cima antes da mensuração? A resposta correta é que ela não tinha nenhum dos dois. A configuração de seu spin era indeterminada antes da mensuração.

O fato de a função de onda mecânica quântica que descreve o objeto não corresponder a valores únicos de observação é especialmente perturbador quando se pensa em objetos vivos. Há um famoso paradoxo chamado "gato de Schrödinger". (Erwin Schrödinger foi um dos jovens turcos na casa dos 20 anos que, no início do século, ajudaram na descoberta das leis da quântica. A equação que descreve a evolução no tempo da função de onda quântica é conhecida como equação de Schrödinger.) Imaginemos uma caixa, e dentro dela um gato. Também dentro da caixa e apontado para o gato, existe um revólver, ligado a uma fonte radioativa. A fonte radioativa tem uma certa probabilidade quântica de decair a qualquer tempo. Quando a fonte decair, o revólver disparará, matando o gato. A função de onda que descreve o gato está, antes de abrirmos a caixa, descrevendo uma superposição linear de um gato morto e um vivo? Isso parece absurdo.

Da mesma forma, nossa consciência é sempre única, nunca

indeterminada. Será o ato de consciência uma mensuração? Se for, então pode-se dizer que a qualquer momento existe uma probabilidade quântica diferente de zero de que diversos resultados aconteçam, e nosso ato de consciência determina qual resultado experimentaremos. Portanto, a realidade tem um infinito número de ramificações. A cada instante, nossa consciência determina em qual ramificação estamos, mas *a priori* existe um infinito número de possibilidades.

Essa interpretação "de múltiplos mundos" da mecânica quântica — que afirma que em alguma outra ramificação da função de onda quântica Stephen Hawking está escrevendo este livro e eu estou escrevendo o prefácio — aparentemente é a base do infortúnio do pobre Worf. De fato, Data diz isso durante o episódio. Quando a nave de Worf atravessa uma "fissura quântica no espaço-tempo", ao emitir simultaneamente um "pulso subespacial", as barreiras entre as realidades quânticas "caem" e Worf começa a saltar ao acaso de uma ramificação da função de onda para outra, experimentando diversas realidades quânticas. Claro, isso nunca poderia acontecer porque, uma vez que uma mensuração é feita, o sistema, incluindo a aparelhagem de medida (o próprio Worf, neste caso) também muda. Uma vez que Worf tem uma experiência, não há retorno... ou talvez fosse melhor dizer movimento lateral. A experiência em si é suficiente para fixar a realidade. A própria natureza da mecânica quântica exige isso.

Há uma outra característica da mecânica quântica que o episódio menciona. A tripulação da *Enterprise* pode verificar que Worf está em outra "realidade quântica" em determinado momento porque sua "assinatura quântica em nível atômico" é diferente de qualquer coisa conhecida em seu mundo. Segundo Data, essa assinatura é única e não pode mudar por causa de algum processo físico qualquer. Isso é tecnobaboseira, claro, mas levanta um aspecto interessante da mecânica quântica. O conjunto inteiro de todos os estados possíveis de um sistema é chamado de espaço de Hilbert, devido a David Hilbert, o famoso matemático alemão que, entre outras coisas, chegou bastante perto de desenvolver a relatividade geral antes de Einstein. Às vezes acontece de o espaço de Hilbert se subdividir em setores separados, chamados de "setores de superseleção". Nesse caso, nenhum processo físico local pode mover um sistema de um setor para outro. Cada setor

é identificado por alguma quantidade, por exemplo a carga elétrica total do sistema. Se quisermos ser poéticos, poderíamos dizer que essa quantidade forneceu uma "assinatura quântica" única para o setor, uma vez que todas as operações quânticas locais preservam o mesmo setor, e o comportamento das operações e das observações a ele associadas é determinado por essa quantidade.

Entretanto, as diferentes ramificações da função de onda quântica de um sistema precisam estar em um único setor de superseleção, porque qualquer um deles, em princípio, é fisicamente acessível. Portanto, infelizmente para Worf, mesmo violando os dogmas básicos da mecânica quântica ao pular de uma ramificação para outra, nenhuma observação externa poderia existir para validar sua história.

O ponto central da interpretação de múltiplos mundos da mecânica quântica (ou de qualquer outra interpretação dela) é que nunca se pode experimentar mais de um mundo de cada vez. E agradecemos pela existência de outras leis da Física que impedem o surgimento de milhões de *Enterprises* de diferentes realidades, como acontece no final do episódio. A simples conservação de energia, um conceito puramente clássico, basta para impedir isso.

SOLITONS: No episódio "New Ground" ("Novo Terreno") de *A Nova Geração,* a *Enterprise* assiste a uma experiência desenvolvida pelo Dr. Ja'Dor, do planeta Bilana III. Nela, uma "onda soliton", uma onda de choque não-dispersante de uma distorção espacial, é usada para impulsionar uma nave de teste à velocidade de dobra sem a necessidade do motor de dobra. O sistema requer um planeta no ponto de destino da viagem, produzindo um campo difusor para dissipar a onda. A experiência quase resulta em desastre, que obviamente é evitado no último instante.

As solitons não foram inventadas pelos roteiristas de Jornada nas Estrelas. O termo é uma contração de "ondas solitárias" e na realidade se refere a um fenômeno originalmente observado na água por um engenheiro escocês, John Scott Russell, em 1834. Ao realizar um estudo não-remunerado sobre as embarcações de canal para a Union Canal Society de Edimburgo, ele percebeu algo peculiar. Em suas próprias palavras:

> "Eu observava o movimento de um barco puxado rapidamente ao longo de um canal por uma parelha de cavalos quando subitamente o barco parou, mas não a massa de água do canal que ele havia colocado em movimento; acumulada em torno da proa da embarcação, em um estado de violenta agitação para então deixá-lo para trás repentinamente, ela seguiu adiante em grande velocidade assumindo a forma de uma grande elevação solitária, uma montanha de água suavemente redonda e bem definida que continuou seu curso ao longo do canal aparentemente sem mudança de forma ou redução de velocidade. Eu a segui a cavalo e a ultrapassei enquanto ainda prosseguia a uma velocidade de talvez 13 ou 15 quilômetros por hora, preservando sua figura original de cerca de 10 metros de comprimento e uns 35 a 50 centímetros de altura. Sua altura foi diminuindo gradativamente e, depois de acompanhá-la 2 ou 3 quilômetros, eu a perdi nas curvas do canal. Portanto, em agosto de 1834, tive a primeira oportunidade de me encontrar com esse singular e bonito fenômeno que chamei de Onda de Translação."[3]

3. *RUSSELL, John Scott, Report of the 14th Meeting of the British Association for the Advancement of Science* (London: John Murray, 1844).

Mais tarde, Scott Russel cunharia a expressão "onda solitária" para descrever essa maravilha, e o termo permaneceu, ainda que as solitons tenham surgido em diversos subcampos da Física. De maneira geral, as solitons são objetos não dissipantes, classicamente extensos, mas de tamanho finito, que podem se propagar de ponto a ponto. De fato, é por esse motivo que os desastres que conduzem a trama do episódio não poderiam acontecer. Em primeiro lugar, a soliton não emitiria "uma enorme quantidade de radiointerferência". Se ela o fizesse, estaria dissipando sua energia. Pelo mesmo motivo, ela não continuaria a ganhar energia ou mudar de freqüência.

Ondas normais são objetos extensos que tendem a dissipar sua energia à medida que se movem. Mas forças clássicas resultantes de alguma interação através do espaço, chamada de "campo", geralmente mantêm as solitons intactas, assim elas se propagam sem perder sua energia para o meio ambiente. Por serem soluções energéticas auto-

suficientes das equações que descrevem o movimento, elas em princípio se comportam como objetos fundamentais — como partículas elementares. De fato, em certos modelos matemáticos das interações fortes que mantêm os quarks unidos, o próton pode ser visto como uma soliton. Se esse for mesmo o caso, todos nós somos feitos de solitons! Novos campos propostos na física das partículas elementares podem se unificar, formando "estrelas de solitons" — objetos que têm o tamanho de estrelas, mas envolvem um único campo coerente. Tais objetos ainda estão por ser observados, mas podem muito bem existir.

QUASARS: No episódio "The Pegasus" ("O Pégaso"), no qual aprendemos sobre o Tratado de Algon que proibiu a Federação de usar os dispositivos de camuflagem, encontramos a *Enterprise* de Picard explorando o quasar Mecoria. Anteriormente, no episódio da série clássica intitulado "The Galileo Seven" ("O Primeiro Comando"), vimos que a *Enterprise* original tinha ordens para investigar esse tipo de objeto sempre que o encontrasse. Mas nenhuma das naves na realidade nunca encontraria um quasar enquanto circulasse pelas vizinhanças de nossa galáxia. Isso porque acredita-se que os quasars, os objetos mais energéticos conhecidos no universo até o momento (eles irradiam uma quantidade de energia comparável à de galáxias inteiras, mesmo sendo tão pequenos que telescópios não podem observá-los), sejam enormes buracos negros no centro de algumas galáxias que literalmente engolem a massa central de suas hospedeiras. Esse é o único mecanismo proposto que pode explicar as energias observadas e as escalas de tamanho dos quasars. Ao cair em um buraco negro, a matéria irradia uma grande quantidade de energia (ao perder sua energia gravitacional potencial). Se buracos negros com massa equivalente a milhões ou bilhões de Sóis existem no centro de algumas galáxias, eles podem engolir sistemas solares inteiros, que por sua vez irradiarão a energia necessária para compor o sinal do quasar. Por esse motivo, os quasars freqüentemente são parte do que chamamos de "núcleo galáctico ativo". Também por esse motivo, não gostaríamos de nos encontrar com um desses objetos. Esse encontro seria fatal.

NEUTRINOS: Os neutrinos são minhas partículas favoritas e por isso resolvi deixá-las por último. Tenho gasto boa parte de meu tempo pesquisando essas criaturas, pois apesar de sabermos tão pouco sobre elas, elas prometem nos ensinar muito sobre a estrutura fundamental da matéria e a natureza do universo.

Muitas vezes, em diversos episódios de Jornada nas Estrelas, os neutrinos foram usados ou medidos em naves estelares. Por exemplo, leituras elevadas de neutrinos geralmente acontecem quando os objetos atravessam o buraco de minhoca bajorano. Também aprendemos no episódio "The Enemy" ("O Inimigo") que o visor de Geordi LaForge pode detectar neutrinos, quando um feixe de neutrinos é enviado para localizá-lo de maneira que ele possa ser resgatado de um planeta inóspito. Um "campo de neutrinos" é encontrado no episódio "Power Play" ("O Jogo do Poder") e momentaneamente interfere com a tentativa de transportar algumas formas de vida incorpóreas e criminosas a bordo da *Enterprise.*

As primeiras predições a respeito da existência dos neutrinos eram resultantes de um quebra-cabeças relacionado com o decaimento dos nêutrons. Nêutrons são estáveis dentro do núcleo atômico, mas nêutrons livres observados decaem em um tempo médio de 10 minutos para prótons e elétrons. A carga elétrica funciona bem porque um nêutron é eletricamente neutro, enquanto um próton tem carga positiva e o elétron, uma carga negativa igual e oposta. A massa de um próton mais um elétron é quase a mesma massa de um nêutron, portanto, de qualquer forma, não há muita energia livre para produzir outras partículas no processo de decaimento.

Mas às vezes o próton e o elétron observados movem-se na mesma direção durante o decaimento. Isso é impossível, porque cada partícula emitida possui um momento. Se o nêutron original estava em repouso, seu momento era 0, logo alguma outra coisa teria de ser emitida no decaimento para desviar o momento em sentido oposto.

Essa partícula hipotética foi proposta por Wolfgang Pauli nos anos 30, e batizada de "neutrino" (pequeno nêutron) por Enrico Fermi. Ele escolheu esse nome porque a partícula de Pauli tinha de ser eletricamente neutra, para não prejudicar a conservação de carga no

decaimento, e ter no máximo uma massa muito pequena, para poder ser produzida com a energia disponível depois da emissão do próton e do elétron.

Como os neutrinos são eletricamente neutros e não experimentam a grande força (que liga os quarks e ajuda a manter o núcleo unido), eles interagem muito fracamente com a matéria normal. Ainda assim, como são produzidos em reações nucleares como as que alimentam o Sol, os neutrinos estão por toda parte. Provenientes do Sol, 600 bilhões de neutrinos por segundo atravessam cada centímetro quadrado de seu corpo a cada segundo de cada dia, um massacre inexorável que até inspirou um poema de John Updike. Não notamos esse assédio dos neutrinos porque eles passam através de nós sem deixar traços. Em média, esses neutrinos solares podem atravessar 10 mil anos-luz de matéria antes de interagir com ela.

Mas se esse é o caso, é possível perguntar como podemos estar seguros de que os neutrinos existem fora das teorias? Bem, a melhor coisa da mecânica quântica é que ela fornece probabilidades. Por isso é que escrevi "em média" no parágrafo anterior. Enquanto a maioria dos neutrinos viaja 10 mil anos-luz através da matéria sem interagir com nada, se tivermos um alvo grande o suficiente e um número de neutrinos grande o bastante, poderemos ter alguma chance de sucesso.

Esse princípio foi empregado pela primeira vez em 1956 por Frederick Reines e Clyde Cowan, que colocaram um alvo de várias toneladas perto de um reator nuclear e de fato observaram alguns eventos. Essa descoberta empírica do neutrino (na realidade, do antineutrino) ocorreu mais de 20 anos depois de ele ter sido considerado como um fato lógico, e muito depois de a maioria dos físicos ter aceitado sua existência.

Atualmente, utilizam-se detectores muito maiores. A primeira observação de neutrinos solares foi feita nos anos 60 por Ray Davis e seus colaboradores usando 380 mil litros de líquido de limpeza em um tanque subterrâneo na mina de ouro de Homestake em Dakota do Sul. A cada dia, em média um neutrino do Sol interagia com um átomo de cloro, transformando-o em um átomo de argônio. É um tributo a esses cientistas o fato de terem podido detectar a alquimia nuclear ocorrendo em um ritmo tão lento. Acontece que a taxa medida pelo

seu detector e por todos os detectores subseqüentes é diferente da taxa prevista. Esse "quebra-cabeça de neutrinos solares", como é chamado, poderia indicar a necessidade de novos fundamentos da Física associados aos neutrinos.

O maior detector de neutrinos do mundo está sendo construído na mina Kamiokande no Japão. Contendo 30 mil toneladas de água, ele será o sucessor de um detector de 5 mil toneladas que foi um dos dois detectores de neutrinos a ver um punhado deles emitidos em 1987 por uma supernova na Grande Nuvem de Magalhães, a mais de 150 mil anos-luz de distância!

O que nos traz de volta ao ponto de partida. Os neutrinos são uma das recentes ferramentas usadas pelos físicos para abrir as portas do universo. Explorando todas as espécies de detecção de partículas elementares juntamente com os detectores eletromagnéticos convencionais, pode-se muito bem chegar a descobrir os segredos da galáxia muito antes de podermos nos aventurar em sua exploração. Claro, se fosse possível inventar um detector de neutrinos do tamanho do visor de Geordi, seria uma grande ajuda!

10 IMPOSSIBILIDADES: A TERRA DESCONHECIDA

Geordi: "De repente é como se as leis da Física fossem pela janela".
Q: "E por que não deveriam? Elas são tão inconvenientes!"
Em "True Q" ("Um Autêntico Q")

"Magro, quero o impossível verificado também." Kirk para McCoy em "The Naked Time" ("A Hora Nua")

"O que você está descrevendo é... a não-existencial" Kirk para Spock em "The Alternative Factor" ("O Fator Alternado")

Qualquer físico *trekker* com alguma sensibilidade reconhece que Jornada nas Estrelas precisa ser tomada com uma dose considerável de boa vontade. Apesar disso, existem momentos nos quais, por um motivo ou outro, os roteiristas de Jornada nas Estrelas passam dos limites, indo do meramente vago ou implausível para o escandalosamente impossível. Mas se encontrar até as falhas técnicas mais obscuras em cada episódio é um passatempo universal dos *trekkers*, não é a descoberta dos erros mais sutis que os físicos e estudantes de Física parecem apreciar mais. Os erros realmente grandes é que são os mais comentados nas pausas para almoço e café durante as reuniões profissionais.

A verdade é que às vezes uma pequena porção de Física na série, mesmo um momento insignificante, pode desencadear uma discussão durante a pausa para o café do dia seguinte. De fato, eu me lembro com nitidez do dia em que um de meus estudantes graduados em Yale, Martin White, que agora está na Universidade de Chicago, entrou em minha sala logo depois de assistir a *Star Trek VI: The Undiscovered Country (Jornada nas Estrelas VI: A Terra Desconhecida).* Eu pensava que falaríamos sobre ondas gravitacionais do universo primordial, mas, em vez disso, Martin começou a falar delirantemente sobre uma cena específica do filme, uma cena que durou no máximo

15 segundos. Dois assassinos com capacetes abordam a nave do chanceler Gorkon, que havia sido avariada por torpedos fotônicos disparados da *Enterprise* e, portanto, estava em condição de gravidade zero, e atiram em todos, incluindo Gorkon. O que impressionou Martin e, para minha surpresa, diversos outros estudantes de Física com os quais discuti o filme, foi que as gotas de sangue que flutuavam pela nave eram esféricas. Na Terra, todas as gotas de líquido têm a forma de lágrima devido à atração da gravidade. Na ausência dela, como era o caso da nave de Gorkon, mesmo as lágrimas seriam esféricas. Os físicos sabem disso, mas raramente têm a oportunidade de ver o fenômeno. Logo, ao incluir esse simples fato da forma correta, o pessoal de efeitos especiais de Jornada nas Estrelas fez a felicidade de muitos físicos. Contentamos-nos com pouco....

Mas os erros também nos ensinam. De fato, talvez o erro mais memorável de Jornada nas Estrelas mencionado por um físico não envolva a Física absolutamente. Foi-me relatado pelo físico de partículas (e escritor de ciência) Steven Weinberg, que ganhou o Prêmio Nobel por ter ajudado a desenvolver o que agora é chamado de Modelo Padrão da Interação das Partículas Elementares. Como sei que ele mantém a TV ligada enquanto realiza cálculos intricados, escrevi-lhe pedindo que me remetesse suas memórias sobre Jornada nas Estrelas. Weinberg respondeu que "o maior erro da série é a repetida divisão do infinitivo: *To boldly go*...!*"*. (No inglês.)

No entanto, o mais freqüente são os erros de Física atraírem a atenção dos físicos. Penso que isso ocorre porque esses erros validam a percepção que muitos Físicos têm de que a Física está muito distante da cultura popular, para não mencionar o sentimento de superioridade que temos ao fazer piadas sobre os bacharéis em letras que escrevem o seriado. É impossível imaginar que um filme importante de alguma forma colocasse Napoleão falando alemão em vez de francês, ou datando a assinatura da Declaração de Independência norte-americana no século XIX. Então, quando um erro de Física comparável a isso consegue se imiscuir em uma série que afinal deveria ser orientada cientificamente, os físicos gostam de malhar. Fiquei surpreso ao ver que muitos de meus distintos colegas — de Kip Thorne e Weinberg até Sheldon Glashow, para não mencionar Stephen Hawking, talvez o

físico e *trekker* mais famoso de todos — assistem à série Jornada nas Estrelas. Eis aqui uma lista de meus erros favoritos, garimpada em discussões com esses e outros físicos e com mensagens de correio eletrônico (e-mail) de *tecnotrekkers.* Esforcei-me para concentrar-me principalmente (mas não exclusivamente) em erros da "física pé-no-chão". Portanto, queixas populares como "Por que a luz das estrelas não se espalha sempre que a velocidade de dobra é usada?" e coisas assim não foram incluídas. Da mesma forma, ignorei a tecnobaboseira, o uso indiscriminado de terminologia científica e pseudo-científica em cada episódio para dar um sabor de tecnologia futurista. Finalmente, tentei, na maioria das vezes, escolher exemplos que não havia discutido antes.

"NO ESPAÇO, NINGUÉM PODE OUVI-LO GRITAR": A peça promocional de *Alien* acertou, mas geralmente Jornada nas Estrelas não acerta. As ondas sonoras *NÃO* viajam no espaço! Mesmo assim, quando uma estação espacial na órbita do planeta Tanuga IV explode, a bordo da *Enterprise* podemos ouvir e ver a explosão. E o que é pior, nós a ouvimos *ao mesmo tempo* em que a vemos. Mesmo se as ondas sonoras pudessem se deslocar no espaço, o que não ocorre, a velocidade de uma onda de pressão como a do som normalmente é muitíssimo menor do que a da luz. Basta ir a um campo de futebol para descobrir que vemos as coisas muito antes de as ouvirmos.

Uma famosa experiência da Física do segundo grau é a de colocar uma campainha elétrica em uma câmara de vácuo, um recipiente de vidro do qual todo o ar é retirado com uma bomba. Quando o ar é removido, o som da campainha desaparece. Já no século XVII, sabia-se que o som precisa de um meio para se deslocar. No vácuo existente no interior da câmara, não há nada para suportar as ondas sonoras, portanto não ouvimos o som da campainha. Para ser mais específico, o som é uma onda de pressão, ou perturbação, que se move à medida que as regiões, nas quais a pressão é maior ou menor do que a pressão média, se propagam através de um meio. Tire o meio e não existirá pressão para sustentar uma perturbação. Incidentalmente, o exemplo da câmara de vácuo está na origem de um mistério discutido anteriormente, e que foi muito importante na história da Física. Pois se

não podemos ouvir a campainha, ainda podemos vê-la! Logo, se a luz deve ser uma espécie de onda, qual o meio que a sustenta que não é removido quando retiramos o ar? Essa foi uma das principais justificativas para o postulado do éter.

Na série, nunca tinha prestado muita atenção ao som ou à sua ausência no espaço. Mas depois que Steven Weinberg e diversos outros colegas mencionaram a lembrança de sons associados a explosões em Jornada nas Estrelas, verifiquei o episódio a que acabara de assistir, "A Matter of Perspective" ("Uma Questão de Perspectiva"), no qual a explosão da estação espacial de Tanuga IV acontece. E lá está, *cabum!* A mesma coisa aconteceu no episódio seguinte a que assisti (quando uma pequena nave carregando cristais de dilítio roubados da *Enterprise* explodiu com um sonoro *bum!* perto do planeta Arkaria). Depois, verifiquei o mais recente filme de Jornada nas Estrelas, *Generations {Gerações).* Nele, até mesmo uma garrafa de champanhe faz barulho quando explode no espaço.

Mas um colega físico, Mark Srednicki, da Universidade da Califórnia, em Santa Barbara, chamou-me a atenção para uma gafe ainda maior em outro episódio, no qual as ondas sonoras são usadas como arma contra uma nave em órbita. Como se isso não bastasse, diziam que as ondas sonoras atingiram "18^{12} decibéis de potência". O que faz isso soar particularmente mal aos ouvidos de um físico é que a escala de decibéis é uma escala logarítmica, como a escala Richter. Isso significa que o número de decibéis já representa uma potência de dez, e a escala é construída de maneira tal que 20 decibéis é 10 vezes mais alto do que 10 decibéis, e assim sucessivamente. Logo, 18^{12} decibéis seria $10^{18^{12}}$, ou 1 seguido de 11.568.313.814.300 zeros vezes mais alto do que um avião a jato!

MAIS RÁPIDO DO QUE UM PHASER: Se as viagens mais rápidas que a luz feitas em velocidade de dobra são algo com que precisamos conviver em Jornada nas Estrelas, essa possibilidade apóia-se em todas as sutilezas da relatividade geral e novas e exóticas formas de matéria, conforme já descrevemos. Mas para objetos normais fazendo as coisas do dia-a-dia, a velocidade da luz é e sempre será a barreira final. Às vezes, esse simples fato é esquecido. Em um

episódio singular chamado "The Wink of an Eye" ("O Piscar de um Olho"), Kirk é trapaceado pelos escalosianos e bebe uma poção que aumenta tremendamente a velocidade de seus atos até chegar ao nível dos escalosianos, para que possa se tornar o par de sua rainha, Deela. Os escalosianos vivem uma existência hiperacelerada e não podem ser percebidos pela tripulação da *Enterprise.* Antes de levar a rainha para a cama, Kirk tenta atingi-la com o *phaser*. Mas como ela pode se mover em um piscar de olhos pelos padrões humanos normais, ela sai do caminho do feixe antes que ele a atinja. O que está errado com isso? A resposta é: tudo!

O que foi notado por alguns *trekkers* é que a existência acelerada necessária para que Deela se movesse antes do tempo que um feixe de *phaser* levasse para atravessar a sala à velocidade da luz tornaria o resto do episódio impossível. A velocidade da luz é de 300 mil km/s. Deela está a pouco mais de um metro de Kirk quando ele dispara, o que implica uma velocidade de 1/300 milionésimo de segundo. Para que esse intervalo de tempo pareça levar para ela um segundo mais ou menos, o relógio escalosiano precisa ser 300 milhões de vezes mais rápido. Mas se de fato for assim, 300 milhões de segundos escalosianos levariam 1 segundo no tempo normal da *Enterprise.* Infelizmente, 300 milhões de segundos são cerca de 10 anos.

Está bem, vamos perdoar esse lapso dos roteiristas de Jornada nas Estrelas. No entanto, existe um problema muito maior que é impossível de resolver e que diversos físicos que conheço já abordaram. Os *phasers*, é nos dito, são armas de energia dirigida de maneira tal que o feixe de *phaser* viaja à velocidade da luz. Perdão, mas não existe saída para isto. Se os *phasers* são energia pura e não feixes de partículas, como afirma o manual técnico da *Enterprise*, os feixes precisam mover-se à velocidade da luz. Não importa quão rápido nos movamos, mesmo se formos acelerados mais de 300 milhões de vezes, nunca poderemos nos mover para fora do caminho de um feixe de *phaser*. Por quê? Porque, para sabermos que ele está vindo, primeiro precisamos ver a arma ser disparada. Acontece que a luz que permite que vejamos isso viaja à mesma velocidade que o feixe. Logo, é impossível saber que o feixe irá nos atingir até que ele nos atinja! Na medida em que os feixes *phaser* são raios de energia,

não há escapatória. Um problema similar envolvendo a tentativa de vencer um feixe de *phaser* pode ser encontrado no episódio *The Phage* da série *Voyager*.

Mas às vezes são os críticos de Jornada nas Estrelas que cometem erros. Foi-me dito que eu deveria observar um erro em *Generations (Gerações)*, no qual uma estrela brilhando perto de um planeta desaparece e no mesmo instante o planeta escurece. Isso, claro, é impossível, porque a luz leva um tempo finito para ir da estrela ao planeta. Logo, ao desligarmos a luz da estrela, o planeta não saberá disto durante algum tempo. Mas, em *Generations*, o processo todo é visto da superfície do planeta. Desse ponto de vista, no mesmo instante em que se observa a estrela implodir, a superfície do planeta realmente escurece. Isso porque tanto a informação sobre a implosão quanto a ausência de luz chegarão ao planeta ao mesmo tempo. Ambas atrasadas em relação ao fato original, mas coincidentes no tempo.

Apesar de os roteiristas terem entendido bem isso, eles estragaram a idéia ao atribuir ao intervalo de tempo de atraso um período curto demais. Foi dito que a sonda que destruirá a estrela levará apenas 11 segundos para ir da superfície do planeta até a estrela. A sonda viaja a uma velocidade menor do que a da luz, como podemos verificar, porque leva muito menos do que o dobro desse tempo para que aqueles no planeta vejam a estrela começar a implodir, o que indica que a luz leva menos de 11 segundos para fazer a viagem de volta. Por comparação, a Terra está a 8 minutos-luz do Sol. Se o Sol explodisse agora levaríamos 8 minutos para saber. Acho difícil acreditar que o planeta classe M em *Generations* pudesse existir a uma distância de 10 segundos-luz de uma estrela que assim como o nosso Sol queima hidrogênio. Essa distância é cerca de 5 vezes o diâmetro do Sol — pequena demais para ser confortável.

SE NÃO PUDERMOS DESCOBRIR A TRAMA, TALVEZ POSSAMOS DESCOBRIR O HORIZONTE DE EVENTOS: Mesmo tendo dito que não perderia tempo com tecnobaboseiras, não posso deixar de mencionar que a série *Voyager* ganha todas neste departamento. Todos os termos conhecidos do jargão da Física

moderna são incluídos na *Voyager* enquanto esta tenta voltar para casa, viajando no tempo com a regularidade de um trem de subúrbio. Mas os termos da Física geralmente *significam* alguma coisa, portanto, se os usamos como parte da trama, é provável que volta e meia estraguemos tudo. Mencionamos no Capítulo 3 que a fenda no horizonte de eventos que salva o dia da *Voyager* (no fraco episódio "The Phage") parece particularmente absurda para físicos. Uma "fissura" no horizonte de eventos é como remover uma ponta de um círculo, ou como estar meio grávida. Não significa nada. O horizonte de eventos em torno de um buraco negro não é uma entidade física, mas sim um lugar dentro do qual todas as trajetórias permanecem dentro do buraco. É uma propriedade do espaço curvo que a trajetória de qualquer coisa, incluindo a luz, irá curvar-se de volta ao buraco uma vez que se esteja dentro de um certo raio. Ou o horizonte de eventos existe, caso no qual o buraco negro também existe, ou não. Não há meio-termo que permita a passagem de uma agulha sequer, quanto mais da *Voyager*.

QUÃO SÓLIDO É O DOUTOR?-. Preciso admitir que a novidade tecnológica de que mais gosto na série *Voyager* é o doutor holográfico. Há uma cena maravilhosa na qual um paciente pergunta ao médico como ele pode ser sólido se é apenas um holograma. Essa é uma boa pergunta. O médico responde desligando um "feixe de confinamento magnético" para mostrar que, sem ele, o doutor é tão incorpóreo quanto uma miragem. Então ele liga novamente o feixe e enche o paciente de pancada. É um grande momento, mas infelizmente também um momento impossível. Conforme descrevemos no Capítulo 6, o confinamento magnético provoca maravilhas em partículas carregadas, que experimentam a força de um campo magnético constante que faz com que elas se movam em órbitas circulares. Mas acontece que a luz não é carregada. Ela não experimenta a força de um campo magnético. E como um holograma não é mais do que uma imagem de luz, o doutor não pode ser mais do que simplesmente isso.

O QUE É MAIS SENSÍVEL, SUAS MÃOS OU SEU

TRASEIRO? OU INTERFASE OU NÃO-INTERFASE: De vez em quando, Jornada nas Estrelas comete o que chamo de infame erro *Ghost.* Refiro-me ao recente filme com esse título no qual o personagem principal, um fantasma, atravessa paredes e não consegue levantar objetos porque sua mão passa através deles. Mas o milagre é que, quando ele se senta em uma cadeira ou em um sofá, seu traseiro consegue permanecer sobre o móvel. Da mesma forma, o chão parece muito firme sob seus pés. No último capítulo, descrevi como Geordi LaForge e Ro Laren foram "tirados de fase" da matéria normal por um "gerador interfase" romulano. Eles descobriram, para sua surpresa, que eram invisíveis e conseguiam atravessar paredes e pessoas, levando Ro a acreditar que estivesse morta (talvez ela tivesse assistido a uma reprise de *Ghost* em algum velho cinema em sua juventude). Ainda assim, ambos podiam ficar em pé no chão e sentar em cadeiras impunemente. Matéria é matéria, e cadeiras e pisos não são diferentes de paredes — e pelo que consta, pés e traseiros não são menos sólidos do que mãos.

Há uma outra falha fatal associada a esse episódio em particular que também destrói a consistência de diversos outros filmes da série. Na Física, duas coisas que interagem com uma terceira sempre poderão interagir uma com a outra. Isso nos leva de volta à Primeira Lei de Newton: se exerço uma força sobre você, você exercerá uma força igual e oposta sobre mim. Logo, se Geordi e Ro podiam observar a *Enterprise* de sua nova "fase", eles conseguiam interagir com a luz, uma onda eletromagnética. Pela lei de Newton, eles então deveriam ser visíveis. O vidro é invisível precisamente porque não absorve luz visível. Para podermos ver, isto é, para sentir a luz, precisamos absorvê-la. Ao absorver a luz, nós a perturbamos. Perturbando a luz, somos visíveis para os outros. O mesmo vale para os insetos invisíveis da interfase que invadiram a *Enterprise* agarrando-se aos corpos da tripulação no episódio "Phantasms" ("Fantasmas") de *A Nova Geração.* A força que lhes permite permanecer sobre a matéria normal sem atravessá-la não é outra que o eletromagnetismo — a repulsão eletroestática entre as partículas carregadas dos átomos de um corpo e as dos átomos de outro corpo. Interagindo eletromagneticamente, você é parte de nosso mundo.

Nada é de graça.

JOGANDO PARA FORA O BEBÊ JUNTO COM A ÁGUA DA BANHEIRA: No episódio de *A Nova Geração* "Starship Mine" ("A Nave é Minha"), a *Enterprise* atraca no Conjunto Remmler para fazer uma "limpeza de bárions". Parece que essas partículas se acumulam nas superestruturas de naves estelares como resultado de viagens de longo curso em velocidade de dobra, e precisam ser removidas. Durante a limpeza, a tripulação precisa deixar a nave porque o raio removedor é letal para os tecidos vivos. Certamente! Os únicos bárions estáveis são (1) prótons e (2) nêutrons do núcleo atômico. Como essas partículas compõem tudo o que vemos, livrar a *Enterprise* delas não deixaria muito da nave para episódios futuros.

QUANTO FRIO É MUITO FRIO?: A gafe preferida de meu colega e fã de Jornada nas Estrelas Chuck Rosenblatt é a de um objeto ser congelado a uma temperatura de -295° Celsius. Essa é uma descoberta muito interessante porque, na escala Celsius, o zero absoluto é -273°. Como o nome diz, zero absoluto é a menor temperatura que pode ser atingida, porque é a temperatura na qual todo o movimento, vibração e rotação molecular e atômica cessam. Apesar de ser teoricamente impossível atingir essa temperatura, sistemas atômicos já foram resfriados a um milionésimo de grau acima dela (e durante a preparação deste livro, a 2 bilionésimos de grau acima do zero absoluto). Dado que a temperatura está associada ao movimento molecular e atômico, nunca poderemos obter menos do que movimento algum. Logo, mesmo daqui a 400 anos, o zero absoluto ainda será absoluto.

EU VI A LUZ!: Fico envergonhado ao reconhecer que este erro óbvio, que eu mesmo deveria ter percebido, na realidade foi apontado por um estudante de física do primeiro ano, Ryan Smith, quando eu ensinava para sua classe e mencionei que estava escrevendo este livro. Sempre que a *Enterprise* dispara um *phaser* nós o vemos. Mas isso, claro, é impossível, a menos que o próprio *phaser* emita luz em todas as direções. A luz não pode ser vista sem que reflita em algo. Se você

já esteve em uma conferência dada com a ajuda de um apontador a laser — em geral lasers vermelhos de hélio néon —, poderá se lembrar de que apenas a bolinha vermelha pode ser vista, mas não o raio. A única forma de tornar o raio visível é fazer com que a sala fique cheia de poeira em suspensão no ar, batendo os apagadores ou algo assim. (Você deveria tentar isso de vez em quando, pois o show de luz é mesmo espetacular.) Os shows de laser são criados pela reflexão da luz na fumaça ou na água. Logo, a menos que o espaço seja particularmente empoeirado, não deveríamos ver o feixe de *phasers* a não ser no alvo.

OS ASTRÔNOMOS SÃO DETALHISTAS: Talvez não seja surpresa descobrir que os erros físicos encontrados na série por diversas pessoas geralmente estão intimamente relacionados a suas próprias áreas de interesse. Ao entrevistar as pessoas pedindo exemplos, invariavelmente recebi respostas que tinham relação com as ocupações daqueles que se dispunham a fornecer as informações. Recebi diversas respostas de *trekkers* astrônomos pelo correio eletrônico, reagindo a erros sutis de Jornada nas Estrelas. Um estudante de astronomia forneceu um exemplo valioso do esforço dos roteiristas da série ao usar uma informação real de astronomia incorretamente. A forma de vida comedora de energia em "Galaxy's Child" ("Criança da Galáxia") é uma criatura espacial infantil que toma a *Enterprise* por sua mãe e começa a drenar sua energia. No último minuto, LaForge encontra um jeito de fazer com que o bebê desista. Ele é atraído pela radiação emitida pela *Enterprise* no comprimento de onda de 21 cm. Mudando a freqüência da emissão, a tripulação "estraga o leite" e o bebê solta a nave. O que torna esse episódio interessante, e ao mesmo tempo incorreto, é que os autores escolheram um fato mencionado no Capítulo 8, ou seja, a radiação de 21 centímetros, freqüência universal emitida pelo hidrogênio e usada pelos astrônomos para mapear o gás interestelar. Mas os roteiristas interpretaram essa informação como se tudo irradiasse no comprimento de onda de 21 centímetros, incluindo a *Enterprise.* Na realidade, a transição atômica do hidrogênio responsável por essa radiação é tão rara que um átomo em particular no espaço interestelar

poderia produzi-la em média uma vez a cada 400 anos. Mas como o universo é cheio de hidrogênio o sinal em 21 centímetros é forte o bastante para ser detectado da Terra. Então, nesse caso, eu daria A aos autores pelo esforço, mas reduziria sua nota para B+ pela interpretação errada. Mas sou conhecido pela benevolência ao dar notas.

Um cientista da NASA apontou-me um erro que eu não havia notado e que se pode esperar que alguém da NASA perceba. É um procedimento padrão de navegação espacial mover a nave em órbita geossincronizada em torno de planetas, isto é, o período orbital da nave é o mesmo do planeta. Portanto, a nave ficaria sempre sobre o mesmo ponto da superfície do planeta, assim como os satélites em órbitas geoestacionárias fazem na Terra. Mas quando a *Enterprise* é mostrada em órbita de um planeta, geralmente ela se move no sentido contrário ao da superfície do planeta. Na realidade, se a órbita não for geossincronizada, isso acarretará consideráveis problemas para o teletransporte.

ESTES NEUTRINOS DANADOS: Acho que não poderia evitar mencionar novamente os neutrinos. E já que deixei *Deep Space Nine* um pouco de lado neste livro, talvez seja justo terminar com uma mancada desta série, que me foi relatada por David Brahm, um outro físico e *trekker*. Parece que Quark conseguiu pôr as mãos em uma máquina que altera as leis da probabilidade em suas vizinhanças. Pode-se imaginar como isso seria útil nas mesas de jogo, fornecendo o tipo de vantagem ilegal à qual um Ferengi não resistiria. O truque é descoberto por Dax, que analisa o fluxo de neutrinos através da estação espacial. Para sua surpresa, ela descobre que todos os neutrinos estão vindo canhotos — todos girando em uma única direção em relação a seu movimento. Algo deve estar errado! Os neutrinos que giram na direção oposta estão faltando!

Infelizmente, de todos os fenômenos que os roteiristas de Jornada nas Estrelas poderiam ter escolhido para revelar as artimanhas de Quark, eles acabaram pegando aquele que é realmente verdadeiro. Tanto quanto se sabe, todos os neutrinos são canhotos! Eles são as únicas partículas que existem em um único estado de spin. Se a

análise de Dax resultou nessa informação, ela deveria ter tido todos os motivos para acreditar que tudo estava como deveria estar.

O que torna esse exemplo tão desconcertante, pelo menos em minha opinião, é exatamente o que torna a Física de Jornada nas estrelas tão interessante: às vezes a realidade é mais estranha que a ficção.

EPÍLOGO

Bem, isto é tudo em relação a erros e Física. Se deixei de incluir seu erro favorito ou seu tema de Física preferido, suponho que você possa enviar sua sugestão para meu editor. Se houver um número suficiente delas podemos planejar uma continuação como em Jornada nas Estrelas. Já tenho um nome: *A Física de Jornada nas Estrelas II: A Ira de Krauss.*

A intenção ao concluir este livro com um capítulo sobre os erros de física não é a de castigar indevidamente os roteiristas de Jornada nas Estrelas, mas ilustrar as diversas formas de apreciar a série. Enquanto ela continuar no ar, tenho certeza de que novos deslizes darão aos *trekkers* de todos os tipos, desde estudantes secundários até professores universitários, alguma coisa para comentar com prazer no dia seguinte. Além disso, ela oferece uma oportunidade aos escritores e produtores de continuar a acompanhar o mundo em expansão da Física.

Portanto, terminarei este livro onde comecei, não com erros, mas com possibilidades. Nossa cultura tem seguramente sido formada tanto pelos milagres da Física moderna, e incluo aqui Galileu e Newton entre os modernos, quanto por qualquer outro esforço intelectual humano. E se é um erro infeliz conceber a ciência como separada da cultura, é porque ela é na realidade parte daquilo que faz nossa civilização. Nossa exploração do universo representa algumas das mais notáveis descobertas do intelecto humano e é uma pena que não sejam compartilhadas com um público tão grande quanto o da literatura, pintura ou música.

Ao enfatizar o papel potencial da ciência no desenvolvimento da espécie humana, Jornada nas Estrelas caprichosamente mostra a poderosa conexão entre ciência e cultura. Se às vezes argumentei que a ciência do século XXIV pode ter muito pouca semelhança com qualquer coisa que a imaginação dos autores de Jornada nas Estrelas criaram, apesar de tudo espero que essa ciência possa ser ainda mais notável. De qualquer modo, estou convencido de que a física de hoje e de amanhã determinará o caráter de nosso futuro tão seguramente quanto a física de Newton e de Galileu influencia nossa existência

atual. Suponho que sou um cientista, em parte, devido à minha fé no potencial de nossa espécie em continuar a descobrir as maravilhas ocultas do universo. E, afinal, esse é o espírito que sustenta as séries Jornada nas Estrelas. Talvez Gene Roddenberry deva ter a palavra final. Como ele disse no 25º aniversário da série, um ano antes de sua morte: "A raça humana é uma criatura notável, com enorme potencial, e eu espero que Jornada nas Estrelas tenha ajudado a mostrar o que podemos ser se acreditarmos em nós mesmos e em nossas habilidades".